

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID



TESIS DOCTORAL

# **Aumento en el rendimiento y productividad del horno alto**

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR  
PRESENTADA POR

**Antonio Formoso Prego**

DIRECTOR:

**Ángel Vián Ortuño**

Madrid, 2015

FACULTAD DE CIENCIAS

SECCION DE QUIMICAS



UNIVERSIDAD COMPLUTENSE



5322351631

TL

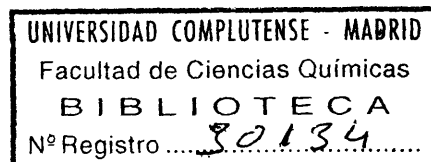
66.0

FOR

# AUMENTO EN EL RENDIMIENTO Y PRODUCTIVIDAD DEL HORNO ALTO

Memoria que para optar al Grado de  
Doctor en Química Industrial presenta

ANTONIO FORMOSO PREGO



Madrid, Diciembre 1971

Expreso mi más profunda gratitud al Profesor Dr. D. Angel Vian Ortuño, Catedrático de Química Industrial de la Facultad de Ciencias de la Universidad de Madrid, por su afectuosa acogida para dirigir la presente Tesis Doctoral.

He de expresar también mi gratitud al Dr. D. Fermín Juan Asensio Gonzalo, por su dirección, por su ayuda y estímulo para realizar mi labor.

El trabajo experimental de la presente investigación se ha realizado en UNINSA, Factoría Gijón, por lo que expreso mi gratitud al Director de la Fábrica, por su excelente acogida durante el período del ensayo.

El trabajo de preparación y teórico, se ha - realizado en el Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas, por lo que doy mi más expresivas gracias al Dr. D. José María Sistiaga Aguirre, Director de dicho Centro, por las facilidades dadas y a todo el personal del mismo Centro que me ha prestado su desinteresada ayuda.

## INDICE

I. RESUMEN . . . . .	I
2. INTRODUCCION . . . . .	4
2. I. PRODUCCION DE ARRABIO Y DE ACERO . . . . .	18
2. 2. MEDIOS NECESARIOS PARA EL CONTROL Y LA REGULACION DEL HOR- NO ALTO. . . . .	21
2. 2. I. Control de materias cargadas por el tragante . .	29
2. 2. 2. Control del viento e inyecciones diversas . . .	31
2. 2. 3. Control de productos elaborados . . . . .	32
2. 2. 4. Otros medios necesarios de control . . . . .	33
2. 2. 5. Influencia de los diferentes parámetros sobre el equilibrio térmico y la marcha del Horno Alto . .	34
2. 2. 5. I. Variables que dependen de la carga .	35
2. 2. 5. 2. Acción de otros parámetros . . . . .	37
2. 3. MATERIAS PRIMAS . . . . .	40
2. 4. OBJETO Y ALCANCE DE LA PRESENTE INVESTIGACION . . . . .	43
3. HORNO ALTO Y EQUIPOS . . . . .	46
3. I. DESCRIPCION DEL HORNO ALTO Nº I . . . . .	46



3. 2. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES DE CONTROL Y REGULACION	48
3. 2. I. Acondicionamiento del viento	48
3. 2. 2. Equipo para el análisis continuo del gas de tragante.	49
3. 2. 3. Composición y temperatura del arrabio	54
3. 2. 4. Composición de la escoria	55
3. 2. 5. Acondicionamiento del coque	56
3. 2. 6. Distribución de gases en la cuba	56
3. 3. MATERIAS PRIMAS CARGADAS AL HORNO ALTO	58
3. 3. I. Sinterizado autofundente	58
3. 3. 2. Minerales de hierro	66
3. 3. 3. Coque	72
3. 3. 4. Fundente	79
4. PROCEDIMIENTO	80
4. I. MATERIAS PRIMAS CONSUMIDAS	80
4. 2. PRODUCTOS ELABORADOS	82
4. 3. LECHO DE FUSION	83
4. 4. RECOGIDA DE DATOS	84
5. RESULTADOS DE MARCHA	86
5. I. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS	87
5. 2. CONDICIONES DE MARCHA	93

5. 3. PRODUCCIONES Y CALIDAD DEL ARRABIO . . . . .	99
5. 4. PRODUCCIONES Y CALIDAD DE LA ESCORIA . . . . .	106
5. 5. PRODUCCIONES Y CALIDAD DEL GAS DE TRAGANTE . . . . .	112
5. 6. CARACTERISTICAS DEL COQUE . . . . .	118
5. 7. INCIDENCIAS EN LA MARCHA . . . . .	124
5. 8. PARAMETROS CALCULADOS MEDIANTE BALANCES DE MATERIAS Y BALANCES TERMICOS. . . . .	131
6. DISCUSION DE LOS RESULTADOS . . . . .	138
6. I. RESULTADOS OPERATIVOS DEL HORNO ALTO . . . . .	138
6. I. I. Alimentación del horno . . . . .	140
6. I. 2. Productos elaborados . . . . .	149
6. I. 3. Consumo específico de coque . . . . .	162
6. I. 4. Indices comparativos de marcha . . . . .	169
6. 2. CONTROL DEL ESTADO TERMICO DEL HORNO ALTO . . . . .	180
6. 2. I. Variaciones del parámetro Wu frente al % de Si en el arrabio y otros parámetros . . . . .	181
6. 3. ESTUDIO TEORICO DEL COMPORTAMIENTO DINAMICO DEL HORNO ALTO . .	193
6. 3. I. Funcionamiento del horno alto en regimen permanente .	193
6. 3. 2. Estudio de los regímenes permanentes posibles . . . .	203
6. 3. 3. Estudio teórico de los regímenes transitorios . . . .	209

7. CONCLUSIONES . . . . .	221
8. RECOMENDACIONES . . . . .	226
9. APENDICES . . . . .	227
9. I. DESCRIPCION DEL HORNO ALTO Y EQUIPOS ACCESORIOS . . . . .	227
9. I. 1. Características del Horno Alto nº I . . . . .	227
9. I. 2. Acondicionamiento del viento . . . . .	228
9. I. 3. Equipo para el análisis continuo del gas de tragante . . . . .	234
9. I. 4. Equipo para la determinación rápida del % Si en el - arrabio. . . . .	241
9. I. 5. Determinación de la temperatura del arrabio . . . . .	245
9. I. 6. Equipo para la determinación rápida de la composici- ón química de la escoria . . . . .	250
9. I. 7. Equipo para conocer la distribución de los gases en la cuba. . . . .	253
9. I. 8. Equipo para el cortado del coque . . . . .	255
9. 2. METODOS DE CALCULO . . . . .	259
9. 2. 1. Cálculo de un lecho de fusión . . . . .	259
9. 2. 2. Cálculo del oxígeno cedido por la carga . . . . .	266
9. 2. 3. Cálculo del índice de producción en los periodos con- siderados. . . . .	270

9. 2. 4. Balance de carbono . . . . .	273
9. 2. 5. Balance térmico, parámetro Wu. . . . .	275
9. 3. LOCALIZACION DE LOS DATOS EXPERIMENTALES . . . . .	278
NOMENCLATURA . . . . .	279
BIBLIOGRAFIA . . . . .	283

## 1. RESUMEN

En esta memoria se presentan los resultados de la investigación realizada en el horno alto nº 1 de UNINSA, Factoría de Gijón, trabajando dicho horno, en marcha experimental por primera vez en España.

Dada la gran significación económica exigida por los medios puestos a contribución, los recursos financieros han estado a cargo, por partes iguales, entre un Plan Concertado de Investigación, todas las plantas siderúrgicas españolas y los Centros Oficiales de investigación metalúrgica.

El control de la operación en la fabricación del hierro en el horno alto es todavía imperfecto, tanto en lo que se refiere a las informaciones que recibe el operador, como las que exige la investigación, al intentar mejorar la eficacia térmica, productividad y calidad de los productos elaborados.

En la memoria se realiza una revisión de los nuevos equipos incorporados al control, renunciando en todo lo posible a descripciones de aparatos e instalaciones, poniendo sin embargo, la máxima atención en su utilización justificando la necesidad de su incorporación y a los resultados obtenidos gracias a su empleo.

Se consideró de urgente necesidad iniciar un plan de investigación siderúrgica sobre control, regulación y sobre las limitaciones de validez de los posibles modelos matemáticos que permitan fabricar mayor cantidad de arrabio, con menor consumo de coque, con una calidad más regular y uniforme.

Con este fin se realizó el montaje y puesta a punto de una serie de equipos de regulación, control, medida y acondicionamiento, sobre los cuales se carecía de experiencia en las empresas siderúrgicas españolas.

Una vez puestas a punto todas las instalaciones, se inició el ensayo, realizandose el control sistemático de las variables que intervienen en el proceso, permitiendo en todo momento conocer el estado térmico del horno.

Durante el ensayo se estudió también la influencia del cortado del coque sobre sus características físicas y químicas y sobre la marcha del horno al utilizar tamaños menores de los que normalmente se utilizaban.

En cuanto a las mejoras obtenidas en esta investigación hay que distinguir entre las directas y las indirectas.

Entre las mejoras directas se encuentra el aumento en un 32% en la producción y un 15% de disminución en el consumo de coque. Otra mejora directa, aunque no haya podido valorarse cuantitativamente, ha sido las mejoras en la calidad del arra-

bio, determinadas utilizando los valores de los contenidos en silicio y en azufre como criterio principal. Durante los períodos de marcha con controles incorporados, las desviaciones típicas del silicio y del azufre son menores a la mitad de las que corresponden a los períodos sin controles, incidiendo sensiblemente este factor en la conversión del arrabio en la acería.

Las mejoras indirectas tienen importancia fundamental; entre ellas se citan las derivadas de la instalación, selección y puesta a punto de los equipos de control que muy bien pueden servir de base para el comienzo de una ingeniería siderúrgica nacional. Otra de las mejoras indirectas consiste en la disminución de paradas del horno, evitando de esta forma las variaciones en la uniformidad y regularidad de la calidad del arrabio fabricado.

Es de destacar también los satisfactorios resultados encontrados tanto en la operación del cortado del coque, como en la mejora de sus características físicas, químicas y en su comportamiento en la marcha del horno alto al utilizar intervalos de tamaños menores.

Se ha comprobado la validez del modelo matemático utilizado, siempre que la marcha del horno se encuentre en régimen estacionario.

## 2. INTRODUCCION

Los grandes avances en la eficiencia y productividad del horno alto conseguidos en los últimos veinte años, se deben principalmente al aumento del tamaño de las unidades de producción, desarrollo tecnológico del proceso y a la preparación de la carga, sin embargo, el control del horno alto es incompleto.

Las imperfecciones del control se pueden considerar bajo dos aspectos:

- En primer lugar hay que tener en cuenta que el operador dispone de escasa instrumentación que le dé información rápida y precisa, con el fin de permitir el conocimiento del estado del proceso en todos los momentos y poder realizar rápidamente las correcciones necesarias, en función de los datos recibidos.
- En segundo lugar es incompleto el conocimiento por parte del operador, de las consecuencias sobre las acciones de regulación que efectúa, sobre todo del factor tiempo, por la inercia que presenta el horno, desde el punto de vista dinámico del proceso.



En los últimos 10 años se han realizado numerosos trabajos de investigación sobre instrumentación y control en horno alto, obteniéndose importantes progresos, sobre todo en determinados aspectos parciales, sin embargo se acepta que la automatización completa del horno alto, en la que el hombre quede relegado a una misión puramente de supervisión, no se realizará en un futuro inmediato.

Aunque la aplicación de estas investigaciones está todavía en fase experimental, la operación del horno se ha beneficiado sensiblemente en los países en que se realizan, sobre todo en lo que se refiere a las constancias y tolerancias en la composición del silicio en el arrabio, productividades y bajos consumos de coque, que son los factores esenciales en la explotación económica de los hornos altos.

En el futuro, se puede predecir que algunas partes de la planta de horno alto marchará bajo riguroso control automático, extendiéndose considerablemente la instrumentación y que proporcionará una información real y precisa al ordenador, con el fin de que la procese y suministre datos, a partir de los cuales el operador conocerá el estado y marcha del horno y mas tarde, el ordenador programado con un modelo aproximado del proceso, realizará el control y regulación del horno durante períodos de marcha estacionaria y predecirá el efecto probable de las acciones de regulación efectuadas.

La elaboración de un modelo teórico de marcha, que se acople a los cambios de las variables operacionales, se debe

fundar en la interpretación de los datos de marcha del horno mediante un modelo estático, para luego poder utilizar este modelo en el control dinámico del horno. Por este motivo es necesario y fundamental realizar mejoras en la instrumentación del horno, para que por medio de la información que facilitan dichos controles a un ordenador programado con un modelo matemático adecuado, pueda controlar la marcha del horno, bien automáticamente en los períodos de marcha estable, o bien siguiendo las ordenes dictadas por el operador como resultado de la información recibida.

En los últimos años se centró la atención mundial en los ensayos realizados por los franceses sobre el control del horno alto, durante períodos estacionarios, por medio de la estabilización del parámetro Wu, relacionando directamente con la calidad del arrabio elaborado, basandose en la información recibida y las consignas suministradas al ordenador. Siguiendo estos pasos, se han realizado en los últimos años numerosos esfuerzos en el desarrollo de nueva instrumentación y control semiautomático (1), (2), (3), (4), (5), (6), (7) y (8), recurriendo a modelos mas o menos complicados con el fin de interpretar los datos recogidos (9), (10), (11) y (12).

La evolución en este campo es muy significativa en la literatura americana (13), (14), (15) y (16) y en la rusa (17), (18), (19), (20) y (21), realizando numerosos estudios con vistas a la automatización del horno alto.

Para poder realizar el control dinámico del horno alto a partir del conocimiento del control estático y poder des

rrollar un modelo operacional del mismo, es necesario tener en cuenta entre otros los siguientes puntos:

- Las condiciones de trabajo del horno alto son tales, que difícilmente pueden conocerse los valores de una serie de parámetros de marcha, como los coeficientes de transmisión de calor, las constantes de velocidad de las reacciones, tamaños de particular, etc. Por lo tanto parece conveniente la sustitución de algún tipo de medidas directas, por su estimación mediante la lógica de un ordenador.
- Actualmente es prácticamente imposible conocer de una manera continua las composiciones de la carga mineral, a pesar de los avances conseguidos hasta el momento (16). Es necesario que las mejoras en este campo se realicen tanto en las técnicas como en la frecuencia de los análisis, más aún que en la exactitud de los valores analíticos.
- Para el desarrollo de un modelo basado en el análisis del gas de tragante, es necesario disponer de equipos analizadores continuos lo más exactos posibles, exigiéndose una exactitud de los valores analíticos.
- En caso de no considerar períodos estacionarios de marcha, hay que tener en cuenta los retrasos

a las acciones de control, que se producen en el horno a causa de su gran inercia. Dichos retrasos, hay que incluirlos en las ecuaciones del modelo.

- Es necesario considerar el trabajo del horno alto como un proceso lento, considerando despreciable el tiempo de residencia del gas, desde el punto de vista de la diferencia de la velocidad de los gases y de los sólidos.

Para desarrollar un modelo matemático de control del horno alto, se pueden hacer dos supuestos: considerar el horno como una unidad en la que se conoce lo que se carga y lo que produce o bien considerar las reacciones que se producen dentro del horno. La base de todos los modelos desarrollados hasta ahora son los balances de materias y balances térmicos y la utilización de una serie de supuestos básicos. Mediante los datos proporcionados por los balances de materias y los balances térmicos se obtienen parámetros que parecen estar relacionados con el estado térmico del crisol, es decir, con la calidad del arrabio producido, utilizando posteriormente este parámetro para realizar el control del horno alto.

Este tipo de aproximación la utilizan los trabajos franceses, belgas y rusos, (22), (1), (11), (8) y (4), estableciéndose también modelos termoquímicos del proceso (23) y (24). En el modelo francés del I.R.S.I.D., el parámetro utilizado para indicar el estado térmico del crisol es  $W_u$ , calculándose a partir del análisis del gas de tragante, de las condiciones del viento, de la car

ga y de la colada, estableciéndose en condiciones estacionarias co rrelaciones entre dicho parámetro y el % Si en el arrabio.

El parámetro  $W_u$  ha sido de gran popularidad como medio de control en condiciones estacionarias. Para obtener la calidad de arrabio que se desea es preciso mantener el parámetro  $W_u$  lo más cerca posible a un valor de control  $W_R$ , mediante modificaciones en el acondicionamiento del viento y la inyección de combustibles auxiliares. Este valor  $W_R$  se determina previamente en cada unidad de producción, realizándose entonces el control del estado térmico del horno alto de la siguiente forma: sobre la base de las medidas realizadas en las fases gaseosas, el ordenador calcula el parámetro  $W_u$  lo compara con el valor del control  $W_R$  y en función de la diferencia ( $W_u - W_R$ ), envía órdenes de cambios directamente a los subconjuntos de regulación que fijan la temperatura y humedad del viento y el nivel de inyección de combustibles auxiliares.

J. Michard propone un esquema de funcionamiento del horno alto, alimentado con sinterizado, basando su estudio en las transferencias de materia y calor en la cuba. Esta concepción del horno toma la forma de un modelo matemático según presentan (23) y (24). Mediante este modelo se puede analizar los resultados de explotación y hacer cálculos de previsión, siendo el origen de la de finición de un estado térmico del horno alto, parámetro  $W_u$ , que se ha utilizado para la regulación automática de la calidad del arrabio (2). La expresión gráfica de este modelo se debe a Rist (26) que utiliza las propiedades de la recta operatoria. En los traba-

jos (27), (28) y (17), se hacen estudios similares.

Se estudia el control de la marcha del horno (27), alimentado con sinterizado, según el modelo propuesto por (23), dividiendo en dos zonas el horno alto, zona de preparación y zona de elaboración. Mediante el análisis continuo del gas de tragante, caudal, acondicionamiento del viento soplado y características de la carga, calculen los parámetros que caracterizan las perturbaciones en la marcha, permitiendo establecer un balance térmico en la zona inferior del horno, caracterizada por un parámetro  $W_u$ , que está íntimamente ligado con la composición del arrabio. Se ha confirmado la teoría (23), por las investigaciones realizadas en 1960 en la cuba de los hornos altos alimentados con un cien por cien de sinterizado (30), (31), (32) y por los trabajos (33) que permiten el estudio de la reducción del sinterizado por un gas en contra corriente. Se realiza un estudio (22), dividiendo el horno en tres zonas de intercambios térmicos que corresponden al esquema de (34). Se calcula continuamente la intensidad de fusión y el parámetro  $W_u$ .

En (35), (36) y (37) se describen los trabajos sobre el control y regulación del horno alto, mediante el modelo del I.R.S.I.D.

Dado que en este trabajo se ha empleado el valor del parámetro  $W_u$ , como herramienta de cálculo se consideren los puntos principales para su cálculo.

Se puede considerar al horno alto dividido en dos

partes:

- La parte superior, zona de preparación, es simplemente un recuperador del potencial térmico y reductor del gas procedente de la zona de elaboración. En esta zona el coque es químicamente inerte, produciéndose el precalentamiento de los sólidos hasta  $950^{\circ}\text{C}$  y su prereducción.
- La parte inferior, zona de elaboración, es en realidad la zona activa del horno, produciéndose importantes intercambios térmicos. Los balances de materiales y térmicos de esta zona representan en realidad los balances de todo el horno. Tomando  $950^{\circ}\text{C}$ , como temperatura de referencia y haciendo el supuesto que en esta zona los sólidos y los gases tienen la misma temperatura de  $950^{\circ}\text{C}$ , los términos que hay que considerar para el balance son los siguientes:
  1. Entalpia del viento seco.
  2. Entalpia de la humedad del viento.
  3. Calor de disociación de la humedad del viento.
  4. Entalpia del gas procedente de la combustión del coque a CO por el viento húmedo.

5. Calor de reducción indirecta de óxidos de hierro por CO y  $H_2$ .
6. Calor consumido para regenerar el CO.
7. Entalpía del arrabio.
8. Entalpía de la escoria.
9. Calor para la reducción de óxidos no ferreos.
10. Calor para la carburación del arrabio.
11. Pérdidas térmicas en las zonas mas bajas del horno.

A la suma de los términos, 7, 8, 9, 10 y 11 se le denomina Wu, que representa la energía disponible, cedida por el gas una vez satisfechas las necesidades térmicas de 5 y 6, siendo esta cantidad la que se cede al lecho de fusión.

Es de destacar que la reducción indirecta de la carga mineral que tiene lugar por debajo de  $950^{\circ}C$ , no se considera en esta expresión.

Para un determinado lecho de fusión, el parámetro Wu, tiene la ventaja de ser representativo a la vez de la calidad física y química de los productos elaborados, pudiendo tomarse en-



tonces este parámetro como representativo del estado térmico del horno.

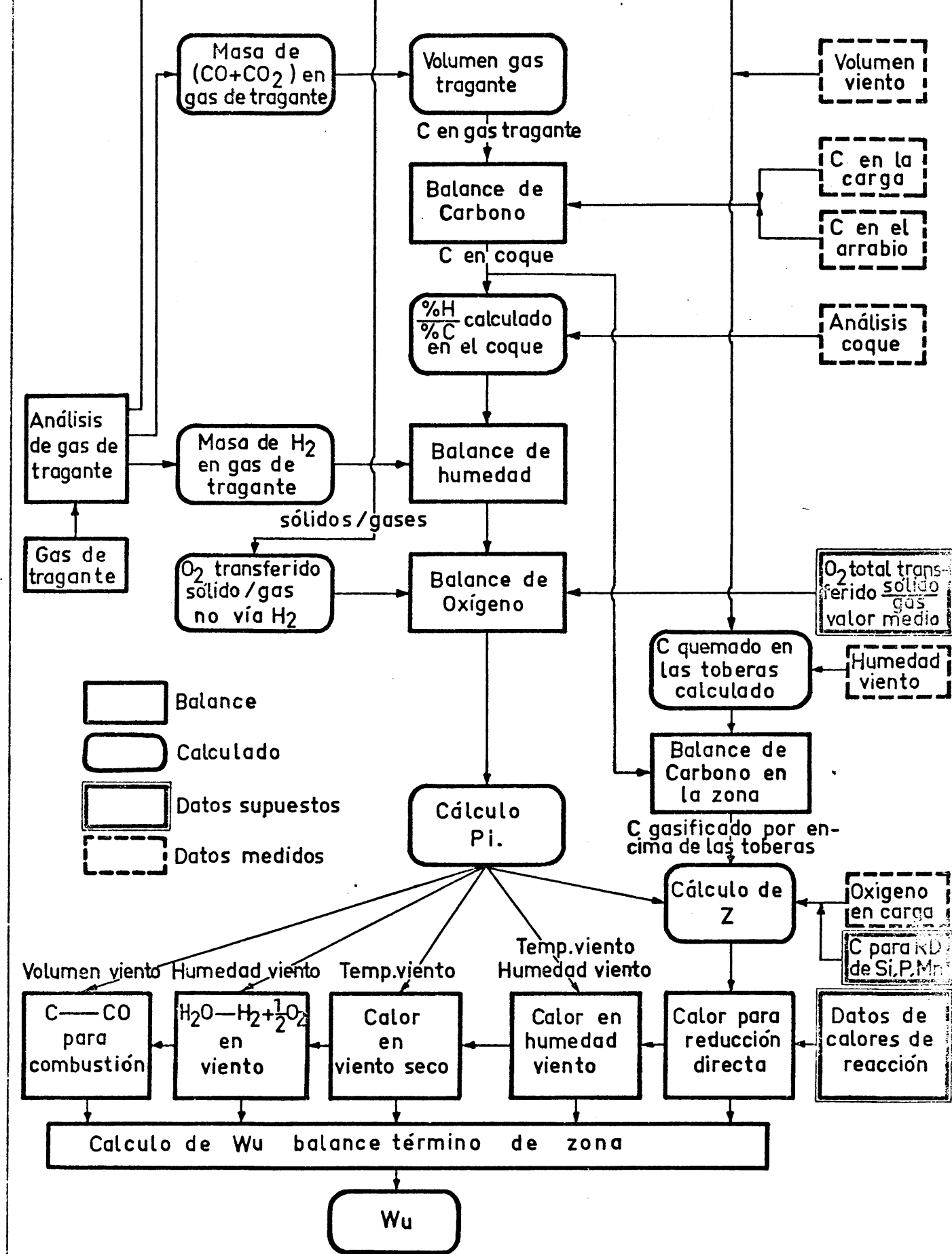
Se calcula el valor del parámetro Wu, mediante el conocimiento del análisis del gas de tragante, acondicionamiento del viento y del grado de oxidación del lecho de fusión que se carga al horno y otros datos complementarios. En el diagrama esquemático se puede ver los cálculos necesarios para llegar al conocimiento del parámetro Wu.

La expresión de Wu, es válida siempre que no se produzcan cambios bruscos en la marcha y particularmente en los siguientes casos.

- Variaciones del caudal del viento soplado.
- Variaciones en la basicidad y volumen de la escoria.
- Variaciones en el perfil de temperaturas gas/sólido a medida que se desciende en el horno.

La expresión final deducida de los balances de materiales y térmicos, trabajando el horno en régimen permanente es función de:

$$Wu = f (\theta_v, h, j, CO, CO_2, H_2, N_2)$$



En el apéndice 9. 2. 5. se encuentra el cálculo de tallado de este parámetro.

En los trabajos realizados por los belgas y holandeses del K.N.H.S. y del C.N.R.M., se utiliza un parámetro similar, llamado  $E_c$ , como indicador térmico que representa el calor necesario para la reducción del silicio y para el calentamiento del hierro y de la escoria. Se ha comprobado que la correlación entre  $E_c$  y el % Si es menos aparente que en el caso del parámetro  $W_u$ .

Un equipo japonés (38) utiliza un modelo empírico, basado en los datos recogidos de otras coladas consecutivas, para predecir el estado térmico del crisol. La forma de la ecuación em pírica utilizada para la estimación del contenido de silicio en el arrabio se deduce del balance térmico, determinando los coeficientes mediante análisis estadístico de los datos del horno. Los valores de los contenidos de silicio estimados y los analizados es tán correlacionados mediante un coeficiente de 0,7.

En todos estos métodos no se tiene en cuenta las ve locidades de reacción, la transmisión de calor, ni las irregularidades en la composición radial de la carga y del gas, sin embargo, tienen la ventaja de utilizar variables relativamente fáciles de medir. La variación de los tiempos de residencia y el desconocimiento de los datos internos, originan dificultades en las aplica ciones de las ecuaciones del balance en intervalos de tiempos pequeños, cuando el horno está en condiciones no estacionarias.

Los investigadores italianos (39) han introducido la modificación del tiempo de respuesta, siendo su aproximación si milar a la de los japoneses, pero sintetizando las ecuaciones para el contenido de silicio y para la temperatura de la colada como funciones explícitas de ciertos parámetros que pueden medirse. Se introducen los tiempos de respuesta en las ecuaciones del balance suponiendo un descenso de la carga uniforme y constante. Aunque es to es una aproximación, las predicciones del contenido de Si son razonablemente buenas.

Una aproximación americana (40) desarrollada por I.B.M., basada en balances térmicos y de materias, tiene por obje to el control a largo plazo con miras a optimizar los consumos de coque y los beneficios en la producción, no pudiendose sin embar go, determinar dichos parámetros en períodos cortos y en condicio nes no estacionarias.

Un equipo holandés (41), ha desarrollado un modelo dinámico de cinco zonas en el que se tiene en cuenta las ecuacio nes para la transmisión de calor y para las velocidades de reac ción, realizando predicciones sobre el efecto de ciertas variables en el consumo de coque.

Los investigadores alemanes (42), utilizan una apro ximación analítica detallada del proceso, por lo tanto sus modelos son incompletos, oscureciendo su objetivo la complejidad matemáti ca, sin embargo la aproximación es válida técnicamente.

Actualmente son varias las factorías europeas, americanas y japonesas, que utilizan el ordenador para el control directo en investigación del horno alto, bien para recogida y registro de datos o bien para su semiautomatización en períodos de régimen permanente. En la práctica, el horno alto no está nunca en régimen permanente, ya que su funcionamiento consiste en una serie de desajustes más o menos importantes que corresponden a regímenes transitorios y por tanto, las actuaciones exactas del control solamente podrán alcanzarse mediante consideraciones dinámicas del horno alto, es decir, mediante el conocimiento de una expresión cuantitativa de los fenómenos transitorios, por medio de un modelo dinámico del horno alto.

## 2. 1. PRODUCCION DE ARRABIO Y ACERO

La producción española de arrabio durante 1970, alcanzó el volumen de 4.164.474 toneladas, con un aumento de un 25 por ciento en términos relativos.

En acero, la producción del citado año fué de 7.239.308 toneladas, lo que representa un aumento del 245 por ciento sobre 1969, según los datos definitivos hechos públicos por UNESID.

Las siderúrgicas integrales produjeron 4.595.976 toneladas de acero, de las que 1.714.819 toneladas corresponden a Altos Hornos de Vizcaya; 2.170.563 toneladas a ENSIDESA; 630.866 toneladas a UNINSA y 79.688 a otras siderúrgicas.

Las factorías no integrales produjeron 2.579.373 toneladas, de las que 1.437.406 corresponden a acero común y 1.146.967 toneladas a aceros especiales.

En la tabla 2. 1. se encuentran las previsiones de consumo de acero, hasta el año 1975.

TABLA 2. 1.

Previsiones de los Programas Siderúrgicos Nacionales

(en miles de toneladas)

<u>AÑO</u>	<u>Programa Siderúrgico Nacional (12-11-66)</u>	<u>1ª Previsión del P.S.N. (17-10-66)</u>	<u>2ª Previsión del P.S.N. (10-1-69)</u>	<u>Demanda real</u>
1968	4.850	7.630	6.600	6.700
1969	5.240	8.365	7.300	8.400
1970	5.700	9.120	8.100	8.700
1971	6.100	9.880	8.925	-----
1972	6.480	10.650	9.800	-----
1973	-----	11.440	10.750	-----
1974	-----	12.235	11.750	-----
1975	-----	13.050	12.800	-----

A pesar del notable incremento de la producción en los últimos años, España sigue siendo un país deficitario en productos siderúrgicos, tendiéndose inicialmente a la autosuficiencia y posteriormente a una posible exportación.

En la tabla 2. 2. se compara la producción mundial y consumo de acero en diferentes países.

TABLA 2. 2.

<u>País</u>	Producción (en millones de toneladas)		Consumo por habitante (en Kg.)
	<u>1966</u>	<u>1969</u>	
Estados Unidos	121,6	128,0	682
U.R.S.S.	96,9	110,1	428
Japón	47,8	82,2	602
Alemania Occ.	35,3	45,3	659
Reino Unido	24,7	26,8	438
Francia	19,6	22,5	444
Italia	13,6	16,4	352
China	12,0	15,0	25
España	3,8	5,9	260

El acelerar este proceso, sólo puede conseguirse aumentando la productividad y rendimiento del horno alto y al mismo tiempo disminuyendo los costos de fabricación del arrabio, tratanto de automatizar al máximo el proceso de elaboración.

Una idea de la repercusión económica que suponen las mejoras propuestas en esta investigación, se obtiene al considerar que tan solo el ahorro de 50 Pts./t.a., al nivel de producción española actual, representa más de 100.000.000 de pesetas al año.



## 2. 2. MEDIOS NECESARIOS PARA EL CONTROL Y REGULACION DEL HOR- NO ALTO

En los últimos cincuenta años se ha aumentado la productividad y la capacidad de los hornos altos, de modo relativamente independiente a la demanda, siendo la tendencia general, el producir mas hierro con menor número de unidades.

Antes de comenzar el siglo XX, los procesos siderúrgicos se operaban adecuadamente sin ninguna instrumentación de regulación y control. La única instrumentación que disponían los operadores era aquella que resultaba evidente a sus sentidos de vista, oído y tacto.

La incorporación de cargue mecánico al horno alto, con control a nivel del suelo, también necesitaba de un indicador que manifestase, a ese nivel, la profundidad de las cargas dentro del horno. Se sucedieron rapidamente grandes mejoras y ya en 1929, Clemens recomendaba la necesidad de realizar por lo menos diecinueve medidas adicionales a la pesada y cargue de materiales, para efectuar satisfactoriamente el control de los procesos del horno alto. Es interesante observar con algún detalle la serie de medidas recomendadas por Clemens y compararlas con la instrumentación que encontremos actualmente en una planta moderna.

Las medidas recomendadas son las siguientes:

ponible en 1929, es decir, el termoper, aunque los pirómetros ópticos, pirómetros de radiación y pirómetros de resistencia, también se utilizan en diversas aplicaciones. La construcción de estos elementos ha mejorado considerablemente en los últimos años, de modo que ahora presentan mayor exactitud y sensibilidad, tienen una respuesta mas rápida y son mas seguros.

El desarrollo mas importante en los últimos años en el campo de la medida de temperaturas es el pirómetro de radiación de dos colores. Se comparan las radiaciones emitidas por un objeto caliente en dos longitudes de onda diferentes, calculando la temperatura por la relación de las dos intensidades emitidas. Actualmente está en estudio el que sea independiente de la emisividad del objeto y relativamente inafectado por los humos.

Los principales avances en la medida de temperaturas y presiones se han realizado en los métodos de indicación y registro de señales, gracias a los avances de la electrónica, pudiendose transformar las variaciones de presión o temperatura en señales eléctricas, las cuales pueden ser registradas facilmente.

El conocimiento de la composición del gas de tragante, merece una consideración especial por su importancia en el sistema de control automático del proceso y por las grandes mejoras obtenidas en su exactitud de medida.

## Viento

Control de temperatura, presión, caudal y humedad.

## Gas de tragante

Control de temperatura y contenido de CO, CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>.

Las medidas de control adicionales a las indicadas por Clemens, se deben a los cambios en la operación tales como, inyección de aceite pesado, enriquecimiento con oxígeno del viento soplado, etc. En resumen, se puede decir que las medidas realizadas han cambiado poco en los últimos cuarenta años. Los cambios se han efectuado en:

- Los métodos de medida para conseguir una mayor exactitud.
- La presentación de las medidas en una forma más útil.

### A. Los métodos de medida

La medida de la temperatura ha evolucionado, sin embargo el elemento sensible primario es todavía similar al dis

### Temperaturas

Gas de tragante, gas depurado, gas consumido en las estufas, viento caliente, combustión en el crisol, escoria, errabio, agua de refrigeración a la entrada y a la salida.

### Presiones

Gas de tragante, gas despues del colector de polvos, gas limpio, viento frío y caliente.

### Análisis

Contenido en CO<sub>2</sub> en el gas limpio y en el consumido en las estufas.

### Caudales

Gas limpio, viento frío soplado, agua de refrigeración.

Toda esta serie de medidas de regulación y control recomendadas hace cuarenta años, son actualmente vigentes. Staib y Michard sugirieron en 1964 que el control automático del proceso, puede efectuarse utilizando las medidas siguientes (adicionales a las relacionadas con el cargue):

En 1929, cuando Clemens indicaba la necesidad del conocimiento del contenido de  $\text{CO}_2$  en el gas de tragante, solamente se disponía de métodos imprecisos para su análisis, como su absorción por vía química, no siendo muy exacta su de terminación y teniendo numerosos problemas de mantenimiento. En los últimos cinco años se ha realizado la técnica del análisis continuo del gas de tragante, sustituyendo los métodos químicos por los físicos, como la absorción en el infrarrojo y la cromatografía de gases.

Como sucede con otras técnicas analíticas que se basan en la medida de alguna propiedad física del gas a me dir, el calibrado de los analizadores se realiza con gases pa trones de composición conocida.

Analogamente a las mejoras obtenidas en el aná lisis de gas de tragante, se han logrado grandes avances en las técnicas utilizadas para realizar el análisis de los mate riales que forman la carga del horno alto, no solamente en exactitud, sino que también en rapidez.

#### B. Presentación de la información de las medidas

Las medidas realizadas carecerían de valor si no se presentan a las personas que han de utilizarlas de una mang ra inteligible y fácilmente utilizable. Esto se ha conseguido mediante la utilización de registradores gráficos.

La instrumentación de la planta proporciona información a tres diferentes grupos: al personal de turnos, a la división de arrabio y al equipo de control o de investigación y desarrollo. Las necesidades de cada uno de estos grupos son generalmente diferentes, aunque entre sí se complementan en algunos aspectos.

El personal que trabaja a turno requiere información inmediata de las condiciones de marcha del horno y de los equipos auxiliares. Mucha de esta información consiste en que si ciertas medidas estén dentro de los límites normales o no, necesitando generalmente valores medios durante un cierto período de tiempo y la indicación de que si el valor leído es tá subiendo o bajando de un modo significativo. Esto normalmente se consigue consultando la gráfica del registro y haciendo una estimación visual de la información deseada.

La información que requiere la división de arrabio, es generalmente diferente. En este caso el interés se centra en los resultados de la marcha, siendo necesario el conocimiento medio del funcionamiento de la unidad de producción en un turno, un día o períodos de tiempo mayores. Ocasionalmente puede exigir más información detallada para investigar un factor particular, si la media del funcionamiento no es la normal o si quiere hacer una comprobación de las decisiones tomadas por los operadores de turno.

Las exigencias del departamento de investigación y desarrollo son mas difíciles de definir. A veces puede ser interesante la media de funcionamiento durante un gran período de tiempo y fiarse de las medias y acumulaciones calculadas por otros, las cuales pueden no ser suficientemente exactas para sus propósitos. Frecuentemente encuentran que los parámetros que necesita, no están registrados, sino solamente indicados y se necesita incorporar instrumentación especial para cubrir tales necesidades.

Se sugiere que todas estas variadas exigencias de los diferentes grupos, pueden alcanzarse de modo mas eficaz utilizando el registrador de un ordenador. El ordenador además de proporcionar una información colectiva del proceso y un servicio a los distintos grupos, puede efectuar diversos cálculos del funcionamiento para el control local, tales como el mantener la temperatura y la humedad del viento constantes, tiempo en gas de las estufas y sus cambios, control de las coladas y cargues, etc., teniendo además la posibilidad de poder conseguir la automatización del proceso, mediante un modelo matemático adecuado.

Un horno alto controlado mediante un ordenador necesita por lo menos 400 instrumentos sensibles asociados a él, de los cuales 250 producen señales analógicas y los otros 150 producen señales digitales. Estas pueden recogerse en el registrador de datos del equipo a una velocidad de 2.000 pun-

tos por segundo. En la mayoría de los casos tal velocidad no es necesaria, sin embargo, algunos cuantos puntos particularmente asociados a las señales de cambio rápido, tales como las que se obtienen en las tolvas pesadoras, pueden necesitar un registro frecuente si el llenado de estas tolvas está bajo el control del computador. Mediante un panel de alarmas se indicarán los instrumentos que se encuentran dentro de los límites programados, en el caso de que se haya sobrepasado cualquier límite, avisará la alarma y la unidad de registro indicará la causa exacta del motivo. En tal caso, el responsable del control deberá poder interrogar al sistema por medio de una clave del teletipo o por medio del dispositivo digital con selección manual del canal, el cual a su vez será capaz de indicar el valor corregido de cualquier parámetro que se desee.

Los únicos valores deberán estar representados continuamente en el sistema digital controlado por el ordenador serán: temperatura del viento, volumen del viento, humedad del viento, contenido en oxígeno del viento, presión del viento, caudal de fuel-oil inyectado, posición de la válvula de balanceo, presión del gas en el tragante, temperatura del gas de tragante y posición de las sondas del nivel de carga. No se necesitan registros gráficos ya que el ordenador da información escrita de las medias, valores máximos y mínimos de los parámetros deseados durante los períodos de tiempo seleccionados, así como el cálculo de las cargas con el fin de ob



tener una determinada composición de la escoria.

A continuación se realiza un sistemático estudio de los controles necesarios. En primer lugar examinaremos las entradas, es decir, las cargas sólidas y sus condiciones de carga, en segundo lugar el viento y las diferentes inyecciones y en tercer lugar los productos que salen del horno alto: gas, polvos, arrabio y escoria.

#### 2. 2. 1. Control de materias cargadas por el tragante

Los controles a efectuar sobre los materiales cargados corresponden a sus características físicas, químicas y sus pesos.

Todos los controles que se realicen sobre las características de la carga, dependen fundamentalmente del problema de toma de muestras, que es difícil que sea representativa.

Las principales características físicas a medir son las siguientes: granulometría, ensayos de resistencia mecánica, densidad, índices MICUM, índices I.R.S.I.D., reductibilidad, etc. Las características químicas de la carga se determinan mediante métodos clásicos de análisis químicos y métodos físicos, como fluorescencia de rayos X, absorción atómica, etc. Las características químicas del coque, se determinan mediante análisis típicos químicos, cenizas, etc.

La humedad de la carga, se puede determinar por conductividad térmica, transmisión o retrodifusión lenta de neutrones o por absorción lenta de ondas electromagnéticas.

Considerando que el principal control de la marcha del horno alto se debe realizar sobre la carga, es de capital importancia la máxima precisión y automatismo en el sistema de carga, de forma que permita realizar con exactitud la dosificación de la carga y su introducción en el tragante, según las decisiones del operador, permitiendo en todo momento la medida exacta de los materiales introducidos en el horno y el poder realizar los ciclos de carga seleccionados.

La medida del peso se ha de realizar mediante adecuados equipos electrónicos.

El control de carga se divide en dos partes: control del nivel de las cargas y el control del reparto de las cargas.

El control del nivel de carga y de su descenso se puede realizar mediante sondas mecánicas, sondas radiométricas constituidas por emisores de rayos (generalmente de Co 60), de una serie de contadores Geiger colocados a diferentes niveles, o bien por ultrasonidos.

El control del reparto de las cargas y de la salida de gases a su través, se realiza mediante sondas horizontales,

situadas en la cuba del horno alto, que se introducen periódicamente, realizando la medida de la temperatura de los gases en diferentes puntos de la sección.

## 2. 2. 2. Control del viento e inyecciones diversas

Las medidas necesarias para controlar el viento son: caudal, presión, temperatura, humedad y eventualmente el contenido de oxígeno.

La medida del caudal es difícil, ya que la realizada con un diafragma en la conducción del viento frío, está falseada por las pulsaciones de la soplante y por las pérdidas en todo el circuito, que pueden ser del 15 al 20%. Para conocer con más exactitud la cantidad de viento que entra en el horno alto, se realiza el cálculo por medio del análisis del gas de tragante, haciendo un balance de nitrógeno.

La presión y la temperatura del viento, se miden en la circular.

La humedad del viento se puede conocer mediante una célula de cloruro de litio o un higrómetro de condensación.

La medida del contenido en oxígeno se puede realizar mediante analizadores adecuados.

El control de las inyecciones se realiza mediante el conocimiento en todo momento del caudal y análisis químico de los líquidos que se introducen en el horno alto.

### 2. 2. 3. Control de productos elaborados

Este control corresponde al gas y polvo de tragante, arrabio y escoria.

El control del gas del tragante es un factor importante para la conducción del horno alto y esencial para su automatización. Para definirlo hay que conocer los siguientes parámetros: análisis químico, presión, temperatura y caudal.

El análisis químico del gas de tragante se realiza de forma continua por métodos físicos, de absorción específica de radiaciones por gases heteroatómicos en la zona infrarroja (para CO y CO<sub>2</sub>) y en la diferencia de conductividad térmica de los gases (para el H<sub>2</sub>).

La medida de la temperatura de los gases no es tan simple como parece, por no ser representativa a causa de la situación de los termopares.

La medida de la presión en el tragante no presenta dificultades.

La medida del caudal del gas, se puede realizar mediante un microventuri o bien mediante trazadores radioactivos.

Los polvos del gas de tragante pueden dar indicaciones sobre la marcha del horno alto, por su análisis, su granulometría y por su cantidad.

El control de la cantidad de polvos se realiza intermitentemente.

Las características esenciales del arrabio y de la escoria para el operador del horno alto, son los análisis químicos rápidos y sus temperaturas, ésta última medida con pirómetro de inmersión o bien con pirómetros ópticos de doble radiación con el fin de eliminar las radiaciones producidas por los humos.

Los pesos de las coladas y de la escoria y del arrabio se realizan por métodos clásicos.

#### 2. 2. 4. Otros medios de control

Para seguir la marcha propiamente dicha del horno alto, además de los anteriormente dichos, son necesarios los controles que a continuación se indican.

- Control del aspecto de las toberas, bien visualmente o por la medida del brillo con una célula apropiada.

- Extensión de la zona de penetración, siendo di  
fícil de realizar.
- Medida de la temperatura al lado de toberas.
- Medida de la pérdida de carga en la cuba. La me  
dida de la presión en la cuba a un nivel situado  
do 10 m. encima del plano de toberas, puede dar  
indicaciones útiles al operador.
- Medida de temperaturas en el refractario, me-  
diante cañas pirométricas situadas en el re-  
fractario de la cuba.

#### 2. 2. 5. Influencia de los diferentes parámetros sobre el equilibrio térmico y la marcha del horno alto

, Según Flint (43) los parámetros que influyen en  
la marcha del horno alto se pueden clasificar en tres catego-  
rías:

- Los que modifican las exigencias fundamentales  
del proceso.
- Los que modifican la eficacia de los intercam-  
bios térmicos.

- Los que modifican los fenómenos de reducción.

El número de estos parámetros es muy importante y no todos están perfectamente definidos y su influencia no está bien conocida. Podemos dividir estos factores en los dos grandes grupos siguientes: variables dependientes de la carga e interacción con las otras variables.

#### 2. 2. 5. 1. Variables que dependen de la carga

A. El coque. Las variaciones de la humedad del coque ocasionan errores en el peso de las cargas, pero no influyen en las necesidades térmicas del proceso, ya que la evaporación del agua se realiza con el calor sensible del gas de tragante, disminuyendo éste su temperatura, lo que favorece la operación del horno alto.

, Las variaciones en el contenido de cenizas si tienen influencia, ya que constituyen una cantidad de escoria suplementaria, siendo este factor el causante de un consumo térmico más importante que el producido por la escoria procedente de la carga mineral.

Las variaciones en el contenido de azufre y en las propiedades fisicoquímicas del coque, repercuten en la marcha del horno alto.

B. La carga mineral. La humedad de la carga mineral se elimina en el tragante, bajando su temperatura.

La cantidad de ganga presenta diferentes efectos según se trate de una carga cruda o sinterizado.

La uniformidad en la granulometría de la carga es uno de los factores fundamentales en la marcha del horno alto. Los finos dificultan el paso del gas, rompiendo el equilibrio del horno y disminuyendo su rendimiento térmico, lo que se traduce en un aumento en el consumo de coque. Tienen gran importancia también las variaciones en la reductibilidad de la carga mineral, las adiciones metálicas y el efecto de la basicidad del lecho en el caso de una marcha con sinterizado.

Todo esto parece indicar que las variaciones producidas en las características de la carga, repercuten en las necesidades térmicas del horno alto, bien directa o indirectamente.

C. Arrabio. Las características del arrabio son el resultado de la marcha del horno alto, en donde las necesidades térmicas varían según la composición deseada. Desde el punto de vista de elementos los mas importantes son: el silicio, fósforo y manganeso.



## 2. 2. 5. 2. Acción de otros parámetros

A. Temperatura del viento. El efecto de una variación en la temperatura del viento puede ser diferente según el lecho de fusión y el estado de equilibrio en que se encuentra el horno alto.

Un aumento en la temperatura del viento modifica por una parte el aporte térmico y por otra, la temperatura de la llama en la boca de las toberas. Cualquier modificación en la temperatura adiabática de la llama actuará sobre la extensión de la zona inferior de intercambio térmico donde terminan los fenómenos de reducción y comienza la fusión de los materiales.

El incremento del aporte térmico por el aumento de la temperatura del viento, hace disminuir el consumo de coque y por tanto la cantidad de gas producido, que puede llegar a ser insuficiente para calentar la carga en la cuba. Se puede llegar a un estado en el cual los óxidos llegan peor reducidos a la zona baja de la cuba, siendo las necesidades térmicas superiores, a causa del incremento en la reducción directa. La relación de capacidades caloríficas de sólidos y de gases son susceptibles de variar según la distribución más o menos homogénea de la carga y puede en ciertas zonas del horno tender al límite antes indicado.

B. Caudal de viento. El aumento del caudal de viento desde el aspecto de la marcha del horno alto, tiene como primera consecuencia una reducción del tiempo de residencia de la carga y el efecto será diferente según el régimen inicial de soplado.

La modificación en el soplado modifica igualmente el reparto de los gases en la cuba, produciendo bien una mejora de las condiciones o bien un empeoramiento y una u otra recuten a la vez sobre los intercambios térmicos y sobre los fenómenos de reducción.

C. Humedad del viento. La disociación del agua es endotérmica, por lo tanto las variaciones de la humedad del viento afectan sensiblemente los aportes térmicos. La disociación del agua en  $H_2$  y  $O_2$ , produce por una parte hidrógeno que mejora la reducción indirecta y por otra parte oxígeno en el viento/soplado, lo que supone un aumento en la producción.

D. Inyecciones. Las inyecciones realizadas en el horno alto, modifican la temperatura en la zona de toberas, constituyendo un aporte térmico, produciendo en general hidrógeno que interviene activamente en los fenómenos de reducción.

Toda variación del tipo de inyección o de la composición del producto inyectado, se refleja globalmente en una variación del equilibrio térmico en el horno.

Si se trabaja con el tipo de inyección mínima compatible con la temperatura de viento utilizado, un aumento de la inyección dará lugar a un incremento del caudal gaseoso en la cuba, en donde se podrán modificar los fenómenos de intercambios térmicos y de reducción.

Es interesante considerar que la equivalencia en coque del combustible inyectado, disminuye cuando se pasa del óptimo de inyección.

E. Perfil y desgaste del refractario. Las modificaciones del perfil a causa del desgaste que sufre el refractario o a la formación de incrustaciones, son susceptibles de modificar la marcha del horno, principalmente en el descenso de la carga y en el desplazamiento de los gases ascendentes a su través, influyendo sobre el rendimiento térmico y químico.

## 2. 3. MATERIAS PRIMAS

Con el objeto de aumentar la productividad del horno alto en el que se realizó el ensayo, se ha comenzado por enriquecer y acondicionar el lecho de fusión, utilizando para ello los siguientes minerales y aglomerados.

### Sinterizado

El sinterizado utilizado durante el período del ensayo, fué suministrado por la Planta de Sinterización de ENSI DESA, siendo cribado a pié de horno, con el fin de eliminar los tamaños inferiores a 6 mm. El sinterizado es autofundente, con una riqueza media en hierro total de un 56% y un contenido medio en FeO de 10%, con una granulometría comprendida entre 5 - 50 mm. El sinterizado forma un 60% del lecho de fusión.

### Mineral Cassinga

El mineral Cassinga utilizado en el ensayo tenía una granulometría comprendida entre 8 - 70 mm., con una riqueza en hierro de un 61%, constituyendo un 30% del lecho de fusión.

### Mineral Goa

Por exigencias de los aceristas en el contenido de manganeso del arrabio, fué necesario incorporar al lecho de

fusión un mineral rico en dicho elemento.

Dicho mineral de hierro tenía una riqueza en Mn de un 4,4% y en hierro de un 47%, formando parte en un 10% de la constitución del lecho de fusión.

### Coque

El coque utilizado durante el ensayo ha sido fabricado en las baterías de coque de la factoría, sometién<sup>do</sup>le posteriormente a una clasificación y estabilización de su tamaño mediante una máquina cortadora del coque. El tamaño del coque se encuentra comprendido entre 30 - 75 mm. y 20 - 65 mm. Esta disminución de tamaño lleva consigo, por otra parte, un aumento de la producción de coque útil de las baterías. Se realizó durante el período del ensayo, un sistemático y riguroso control de todas sus características físicas y químicas. La operación del cortado del coque es la primera vez que se realiza en las plantas siderúrgicas españolas.

### Fundentes

Como fundente se utilizó caliza procedente de una cantera próxima a la factoría, bien clasificada, con una granulometría comprendida entre 20 - 65 mm.

## Viento

El horno alto está equipado con ocho toberas de 130 mm. de diámetro, alimentadas mediante una turbosoplante con un caudal máximo de 48.000 N.m<sup>3</sup>/h.

Se dispone de dos estufas que permiten calentar el viento a una temperatura de 850°C.

El acondicionamiento del viento soplado se realiza mediante un equipo de inyección de vapor de agua en la tubería de viento frío, que permite regular la humedad del viento hasta un valor de 30 gr./N.m<sup>3</sup>.

## 2. 4. OBJETO Y ALCANCE DE LA PRESENTE INVESTIGACION

De lo expuesto anteriormente se deducen las si guientes consideraciones:

1. La producción de hierro ha aumentado sensiblemente en los últimos años, manteniéndose esta tendencia en el futuro.
2. Es necesario aumentar la productividad de los hornos altos, mediante el enriquecimiento del lecho de fusión, mejora de los medios de control y regulación de la marcha, con lo que se conseguiría disminuir el costo de pro ducción del arrabio.
3. Es necesario generalizar el uso de los equipos de control y regulación, para poder con trolar las críticas condiciones de marcha, que requiere una elevada productividad.
4. Interesa el desarrollo y comprobación de un modelo matemático para la futura automatiza ción del horno alto.

Por todo ello pareció interesante un estudio sis temático de todas las variables que intervienen en el proceso de fabricación del hierro en horno alto.

La investigación se orientó fundamentalmente a los siguientes aspectos:

1. Obtención de datos adecuados y fiables que permitan el control más riguroso del horno alto.
2. Estudio de la influencia del cortado del coque en el proceso metalúrgico, especialmente en la utilización de un coque siderúrgico de menor tamaño.
3. Determinación de los consumos mínimos de coque, del horno alto en el que se realiza el ensayo.
4. Determinación experimental de los valores máximos de producción en las condiciones locales de la planta.
5. Mejora de la calidad de los productos elaborados, disminuyendo las dispersiones en su composición.
6. Interpretación de los resultados de marcha mediante aplicación de índices de producción y de consumo de coque.
7. Comprobar la validez técnica de modelos matemáticos e interpretación de sus resultados.



Teniendo en cuenta estas consideraciones y los medios disponibles, se planteó la investigación en los siguientes terminos:

1. Montaje y puesta a punto de los equipos de control, regulación, medida y acondicionamientos necesarios para el conocimiento rápido de las distintas variables operacionales.
2. Montaje e instalación de una máquina cortadora para el acondicionamiento del coque.
3. Puesta a punto de métodos analíticos rápidos con el fin de conocer cualitativamente la composición de los productos elaborados.
4. Control de la marcha del horno alto mediante el conocimiento del estado térmico del crisol.

### 3. HORNO ALTO Y EQUIPOS

Podemos considerar separadamente el reactor (horno alto), los equipos accesorios al reactor, utilizados para la regulación y control del proceso y la composición del lecho de fusión utilizado durante el ensayo.

#### 3. 1. DESCRIPCION DEL HORNO ALTO Nº 1

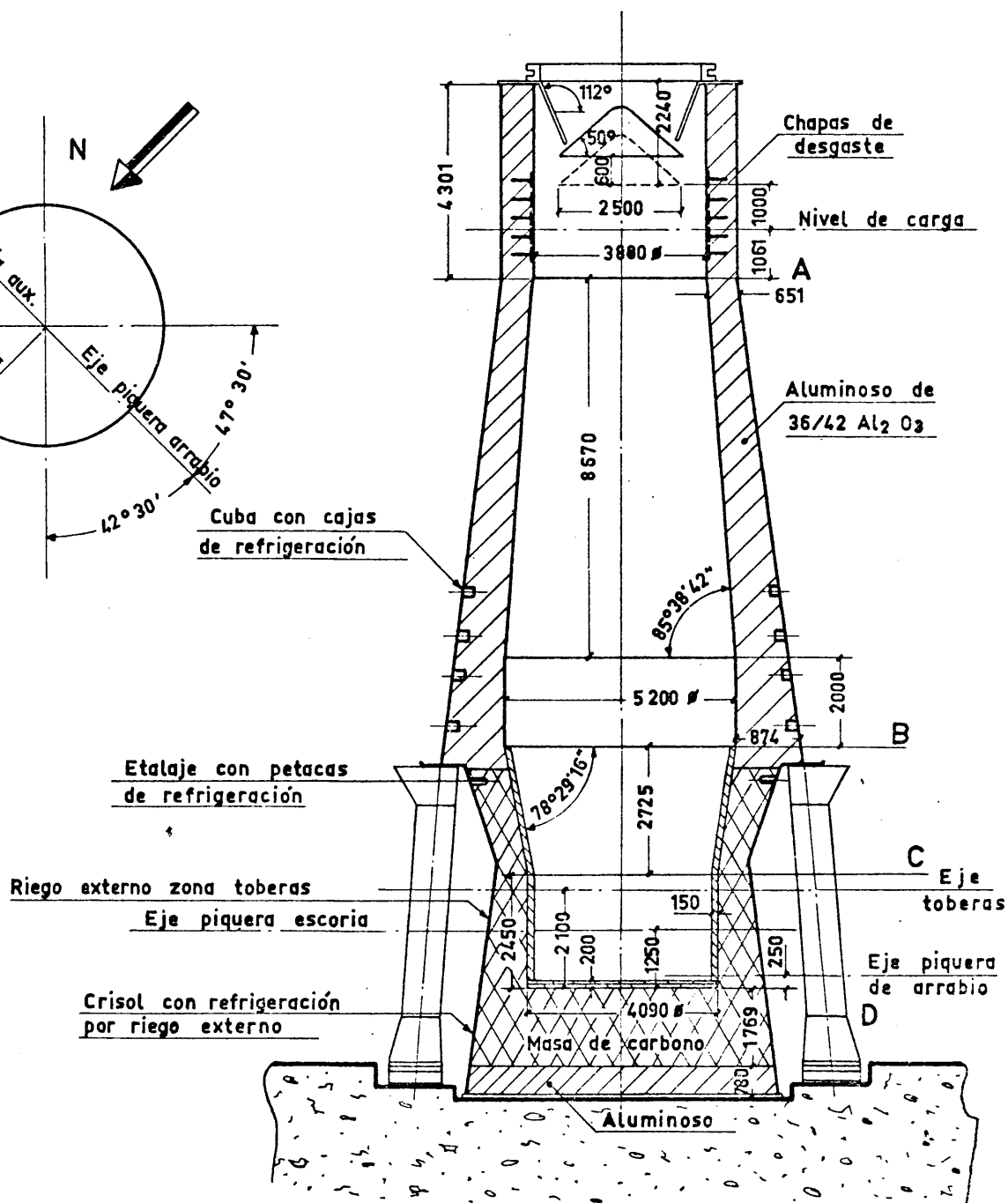
Las principales características geométricas y estructurales del horno alto, en el cual se realizó el ensayo, se encuentran en la figura 3. 1. El Horno Alto Nº 1 fué puesto en marcha en Setiembre de 1968, después de su reconstrucción. Tiene un volumen útil de  $286,68 \text{ m}^3$ , equipado con 8 toberas de 130 mm. de diámetro y alimentado con una turbosoplante con un caudal máximo de  $48.000 \text{ N.m}^3/\text{h}$ .

La temperatura del viento en la circular es del orden de  $800 - 850^\circ\text{C}$ , disponiendo de dos estufas.

Un sistema de inyección de vapor de agua, permite regular la humedad del viento hasta un valor de  $30 \text{ gr./N.m}^3$ .

En el apéndice 9. 1. 1. se indican el resto de las características.

Etalajes C-B = 46,38  
 Cuba B-A = 183,76  
 Tragante = 24,36  
 Tolva = 7,4  
 Volumen total = 286,68  
 Volum. trabajo = 247,28



**Aislamiento entre revestimiento y chapa :  
Mortero de grafito y cemento refractario**

**ESCALA 1:150**

**FIG.3.1.**

### 3. 2. DESCRIPCION DE LAS INSTALACIONES DE CONTROL Y REGULACION

Para conseguir un aumento en la productividad del horno alto y poder realizar los estudios necesarios, con miras a la automatización del proceso, fué necesario la instalación, montaje y puesta a punto de una serie de equipos de regulación y control, de los que a continuación se realiza una breve descripción.

#### 3. 2. 1. Acondicionamiento del viento

Con el fin de disponer de un parámetro de respuesta rápida, mediante el cual se pudiera actuar sobre el estado térmico del crisol del horno alto y por lo tanto sobre el % de Si en el errabio, se realizó la instalación, montaje y puesta a punto, de un sistema automático y manual para la inyección de vapor de agua en la tubería de viento frío, procedente de la turbosoplante.

El equipo para la inyección del vapor de agua al viento frío, está formado esencialmente por los siguientes elementos:

- Cámara toma de muestras del viento húmedo, en donde se mide continuamente la humedad absoluta mediante una célula de cloruro de litio.

- Equipo controlador, regulador neumático y registrador electrónico, situado en la cabina de control, que regula la apertura o cierre de la válvula neumática, en función del punto de consigna y el análisis realizado por la célula de humedad.
- Válvula neumática, accionada desde la cabina de control, bien automáticamente o manualmente, que regula el caudal de vapor que se inyecta al viento frío.

En el apéndice 9. 1. 2., se indican el resto de las características del equipo.

### 3. 2. 2. Equipo para el análisis continuo del gas de tragante

El análisis continuo, en estado seco, del gas de tragante, es una de las informaciones fundamentales para el control de la marcha del horno alto. Para conseguir una marcha continua de los equipos analizadores y que los resultados de los análisis sean precisos y reproducibles, fué necesario realizar una serie de instalaciones que a continuación se describen.

### Toma de muestras y transporte del gas

Se realiza la toma de muestras del gas de tragante, a la salida del colector de polvos, mediante una sonda cerámica con porosidad de  $60\ \mu$ , situada de tal forma que la parte cerrada del tubo de protección esté situada en sentido contrario al flujo del gas. La sonda posee un sistema interior de calefacción con el fin de evitar que se alcance la temperatura de rocío y condense el vapor de agua.

La conducción del gas desde la sonda hasta la Cabina de Control, se realiza mediante una tubería de cobre, ligeramente inclinada en todo su recorrido, introducida en una tubería por la que circula vapor de agua recalentado, encontrándose todo el sistema debidamente calorifugado.

Con el fin de eliminar el agua condensada y para la limpieza de la sonda y circuito, se instaló un sistema automático de purga, por medio de electroválvulas accionadas por un programador que dan entrada bien a nitrógeno, para limpieza de los filtros de la sonda o bien a aire comprimido, para la limpieza de la conducción de gases.

El sistema de toma de muestras mediante la sonda y circuito de conducción de gases a la Cabina de Control, se encuentra duplicado, para tener en todo momento una de las sondas en servicio.

La aspiración del gas de tragante se realiza mediante un grupo compresor con un caudal de aspiración de  $2 \text{ m}^3/\text{h.}$ , situado en la Cabina de Control.

#### Acondicionamiento del gas de tragante e inyección de gases patrones

En la Cabina de Control se efectúa la limpieza, acondicionamiento y aspiración del gas de tragante.

En primer lugar se efectúa la eliminación del polvo que arrastra el gas mediante filtros cerámicos calorifugados y en segundo lugar se elimina el vapor de agua enfriando el gas a una temperatura inferior a su temperatura de rocío, haciendolo pasar a través de un refrigerante especial que se encuentra a  $2^{\circ}\text{C}$  de temperatura.

El gas depurado, se impulsa hacia un segundo armario en donde se realiza su distribución hacia los analizadores. En dicho armario se encuentra un sistema de electroválvulas que accionadas por el equipo automático de recalibración, realiza el tarado, bien manualmente o bien automáticamente, según consigna de un programa determinado.

#### Equipos analizadores continuos y sistema de recalibración

Los equipos analizadores se encuentran en la Ca

bina de Control, climatizada, con el fin de mantener la temperatura en un ámbito de  $20 \pm 3^{\circ}\text{C}$ . El conjunto de los tres analizadores están dentro de un armario termostatzado a  $35 \pm 1^{\circ}\text{C}$ , con el fin de eliminar derivas.

Se utiliza un equipo CALDOS - 2, para el análisis continuo del hidrógeno, basado en la diferencia de conductividad térmica entre los componentes de la mezcla gaseosa. El circuito de medida es un puente de Wheatstone, formado por filamentos de resistencia termov variables, situados de tal manera que dos de los que se encuentren en los brazos opuestos del puente están recorridos por el gas a analizar y los otros dos, están en contacto con el gas de referencia. Las mínimas diferencias de conductividad térmica entre el gas a medir y el gas de referencia, producen en la diagonal del puente una tensión proporcional a la concentración del compuesto que se mide.

Para el análisis de CO y CO<sub>2</sub> se utilizan los equipos URAS - 2 basados en la absorción específica de rayos infrarrojos por los gases poliatómicos.

Los tres equipos analizadores dan señales de salida de 0... 20 m.A., lineales, galvenicamente separados entre si, disponiendo de un sistema especial para eliminar la influencia de la composición del CO<sub>2</sub> sobre las composiciones del CO y del H<sub>2</sub> y con un equipo especial que anula la influencia de las variaciones de la presión atmosférica.



Las señales enviadas por los tres analizadores se recogen en un registrador gráfico POLYCOM - P, electrónico, potenciométrico de compensación con una tolerancia de medida de  $\pm 0,25\%$ .

Las unidades de recalibración y corrección automática de los analizadores, controlan el sistema de electroválvulas para la inyección de gases patrones, corrigiendo las funciones cero y punto máximo, al realizar la calibración.

Las tolerancias admitidas para el análisis de los tres componentes de gas de tragante son las siguientes:

$\pm 0,05\%$	H <sub>2</sub>	en volumen,	calibrado de	0... 5%	vol.
$\pm 0,1\%$	CO	"	"	"	20... 40% vol.
$\pm 0,1\%$	CO <sub>2</sub>	"	"	"	1... 20% vol.

El conjunto de la instalación de análisis continuo del gas de tragante, funcionó ininterrumpidamente con gran sensibilidad y rapidez de respuesta, registrando cualquier perturbación que se produce en el horno a los pocos segundos, como fugas de agua por toberas, cuelgues, malas condiciones de reducción, etc.

### 3. 2.3 . Composición y temperatura del arrabio

El operador de horno alto necesita conocer con rapidez la temperatura de la colada y la composición del silicio en el arrabio.

Con el fin de conocer rápidamente y con exactitud la temperatura del arrabio al realizar la colada, se instaló y puso a punto un equipo para su determinación. Se mide mediante una caña pirométrica de inmersión, constituida por un termopar de Pt - Pt/Rh, de características especiales, que transmite una señal a un registrador potenciométrico con unidad de prenormalización y detector de equilibrio, que realiza el registro gráfico de la variable medida.

La determinación rápida de la composición del silicio en el arrabio se realiza mediante un equipo STRÖHLEIN, fundado en métodos físicos, basándose en la fuerza electromotriz creada al poner en contacto dos metales mantenidos a diferente temperatura. El método es rápido y reproducible, ya que la determinación se realiza en diez minutos.

En el apéndice 9. 1. 4. y 9. 1. 5., se realiza una detallada descripción de los métodos operativos.

### 3. 2. 4. Composición de la escoria

Al no disponer la factoria, de métodos rápidos para realizar el análisis completo de la escoria, fué necesario poner a punto una técnica para su determinación.

Se recurrió a la técnica de absorción atómica, que permitió realizar el análisis completo de los seis componentes de la escoria, en un tiempo aproximado de 30 minutos.

Dicha técnica se funda en que los átomos de los elementos a determinar son excitados por la temperatura y por la resonancia producida por la emisión de fotones procedentes de una fuente que emite en una determinada frecuencia. Al ser absorbidos dichos fotones, se produce una disminución de la intensidad de la radiación que sale de la llama, realizándose la medida de dicha disminución mediante un receptor adecuado.

Como fuente de radiación se utilizaron lámparas de cátodo hueco, formadas por el elemento que se desea determinar, que emiten el espectro característico de dicho elemento.

La determinación de la composición de las escorias se realizó en cada una de las siete coladas que se efectúan en las 24 horas.

En el apéndice 9. 1. 6., se realiza una detenida descripción de la técnica empleada.

### 3. 2. 5. Acondicionamiento del coque

Con el fin de utilizar un coque calibrado a un determinado intervalo de tamaños, adecuadamente estabilizado, fué necesaria la instalación y puesta a punto de una cortadora de coque, por primera vez en España, SUMITOMO, entre la batería y la planta de clasificados. Está accionada con un motor de 5,5 K. W. y tiene una capacidad de producción de 40 t./h.

El coque después de pasar por los rodillos de la máquina, se cribó a un tamaño comprendido entre 30 - 75 mm. y 20 - 65 mm.

### 3. 2. 6. Distribución de gases en la cuba

Para conocer la distribución de los gases en la cuba del horno alto y poder determinar de esta forma si la marcha es periférica o central, se han instalado en la cuba del horno dos sondas horizontales, que penetrando a través de la carga, realizan las medidas de las temperaturas del gas ascendente, a lo largo de varios puntos de un diámetro.

Las sondas penetran en la cuba del horno, a través de la carga, impulsadas por un motor de 4 C.V., utilizando

la técnica de pirometría de succión para obtener una rápida y precisa respuesta en la medida de la temperatura del gas. La temperatura se registra gráficamente obteniéndose un perfil de temperaturas, lo cual permite conocer el flujo de gases en la cuba del horno, determinando de esta forma si la marcha es periférica o central.

### 3. 3. MATERIAS PRIMAS CARGADAS AL HORNO ALTO

Con el fin de conseguir una marcha estable del horno alto, durante el período del ensayo, se utilizó como lecho de fusión los siguientes minerales y aglomerados.

#### 3. 3. 1. Sinterizado autofundente

El sinterizado utilizado constituyó un 60% del lecho de fusión del horno alto durante el período del ensayo. Procedía de la planta de sinterización de ENSIDESA, siendo transportado en camiones. Para eliminar los finos producidos en las operaciones de carga, descarga y transporte, fué sometido a una clasificación de tamaños, mediante una criba vibratoria en el parque de minerales, eliminando los tamaños menores de 6 mm.

El análisis químico medio, es el siguiente:

	<u>%</u>
H <sub>2</sub> O.....	2,70
Fe <sub>T</sub> .....	57,00
FeO.....	10,45
SiO <sub>2</sub> .....	6,86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,6
CaO.....	5,70
MgO.....	1,94

	<u><math>\frac{c'}{p}</math></u>
Mn.....	0,88
S.....	0,014
P.....	0,052
As.....	0,009
R.I. ....	7,41

El sinterizado es autofundente, con un índice de basicidad del orden de la unidad.

El análisis granulométrico medio, está comprendido entre los siguientes tamaños:

<u>mm</u>	<u>%</u>
> 50 .....	5,69
30-50 .....	12,24
6-30 .....	70,69
< 6 .....	11,39

El control del análisis del sinterizado se realizó dos veces por semana, al comprobar su estabilidad en composición.

Para conocer el futuro comportamiento del sinterizado en la marcha del horno alto, se realizaron ensayos de reductibilidad LINDER y estático V.D.E.H. En los dos ensayos el peso de la muestra, ciclo térmico, cantidad y composición de los gases reductores son los mismos que los del ensayo LINDER normalizado.

Con este modo de operar, los resultados obtenidos con el ensayo estático, suministran información complementaria y adicional a los resultados obtenidos en el aparato LINDER en lo que se refiere a la producción de polvo imputable unicamente a la reducción, por estar exenta de las acciones abrasivas debidas al movimiento de la carga que tiene lugar en el ensayo LINDER.

En el ensayo estático hay un contacto mas perfecto entre gas-sólido, al tener que atravesar los gases la capa de mineral, mientras que en el ensayo LINDER como las cantidades de mineral adicionadas a las de coque no completan el volumen total del barrilete que contiene la muestra, no todo el flujo de gases están necesariamente en contacto con ella. Surge así la segunda diferencia entre uno y otro procedimiento operatorio que pueden definir el grado final de reducción. Se puede considerar una situación de compromiso entre el contacto mas perfecto del ensayo estático que favorece la reducción y la mayor degradación del ensayo LINDER, que también la favorece, siempre que el proceso global esté condicionado por la cinética de difusión de los gases de reducción a través de la masa de mineral que constituye la muestra.



Considerando perturbadora para la marcha del horno alto la producción de polvos, siendo estimada por las fracciones 1,7-0,6 mm. y < 0,6 mm., se estudiaron estos fenómenos mediante los siguientes ensayos:

a. Decrepitación por choque térmico

La degradación por choque térmico se relaciona con el calentamiento que experimentan los minerales al ser cargados al horno alto. Se efectúa el ensayo calentando las muestras, bien lavadas, a 400°C y 600°C, con un gradiente térmico de 250°C/hora. Los ensayos realizados con el sinterizado son negativos, no produciéndose degradación por este fenómeno.

b. Resistencia a la abrasión

Se determina por el tambor MINIMICUM del CENIM, cuyo método operatorio está correlacionado con el ensayo del tambor ASTM y MICUM. El estimador más adecuado es la producción de polvos (fracciones 1,7-0,6 mm. y < 0,6 mm.).

Cada muestra se ensayó en crudo y reducida. Los resultados del primer ensayo relacionará la degradación del mineral con su manejo en la fábrica y el segundo ensayo trata de reproducir el efecto de abrasión y compresión del mineral, dentro del horno hasta una zona en la que el grado de reducción sea el obtenido en la muestra ensayada.

El grado de reducción al final de los ensayos se calculó a partir de los análisis de:  $\text{Fe}_T$ ,  $\text{Fe}^{++}$  y  $\text{Fe}^0$ .

Los ensayos se han efectuado separadamente en tres fracciones granulométricas: todo-uno, finos y gruesos. Los resultados obtenidos se recogen en la tabla 3. 2.

TABLA 3. 2.

	Todo-uno <u>(40-5)mm.</u>	Fina <u>(3,15-6,30)mm.</u>	Gruesa <u>(31,5-40)mm.</u>
% $\text{Fe}_T$ .....	62,4	63,05	63,6
% $\text{Fe}^{++}$ .....	44,7	40,28	36,5
% $\text{Fe}^0$ .....	11,0	17,71	22,2
% Reducción...	41,5	49,37	54,0
% Metalización	17,6	28,08	34,9
Hinchamiento ó			
Contracción...	8,3	8,3	0

Se ha determinado el hinchamiento ó contracción de los minerales con la reducción mediante el cálculo del volumen aparente de las muestras antes y después de la reducción. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 3. 2. La variación de volumen del sinterizado con la reducción es pequeña en las fracciones todo-uno y finas, siendo nula en la fracción gruesa.

En la tabla 3. 3. se resumen los valores de las degradaciones en las fracciones consideradas de mayor interés, por relacionarlas con posibles transtornos operacionales, por pérdida de permeabilidad del lecho de fusión o con pérdidas económicas por arrastre de polvos.

TABLA 3. 3.

RESISTENCIA A LA ABRASION

<u>Mineral</u>	<u>Fracción</u> <u>(mm.)</u>	% Degradación					
		<u>Crudo</u>		<u>Red. Linder</u>		<u>Red. Estatico</u>	
		<u>1,7-0,6</u> <u>(mm.)</u>	<u>&lt;0,6</u> <u>(mm.)</u>	<u>1,7-0,6</u> <u>(mm.)</u>	<u>&lt;0,6</u> <u>(mm.)</u>	<u>1,7-0,6</u> <u>(mm.)</u>	<u>&lt;0,6</u> <u>(mm.)</u>
Sinter	(40-5)	3,76	5,8	2,8	6,3	7,1	9,5
Sinter	(3,15-6,30)	1,28	2,8	2,6	5,1	7,8	7,7
Sinter	(31,5-40)	6,46	10,1	3,5	5,1	17,7	14,8

El sinterizado crudo posee una buena resistencia a la abrasión en todas las fracciones estudiadas, lo cual dará lugar a pequeñas producciones de polvo en las operaciones de transporte, apilado, etc.

El sinterizado reducido es resistente y no se degradará en su descenso dentro del horno.

En la tabla 3. 4. se expresa la abrasión producida en la muestra cruda por el tanto por ciento mayor de 1/4

de pulgada y la equivalencia del tambor Minimicum con el A.S.T.M.

TABLA 3. 4.

ABRASION DE LA MUESTRA CRUDA

<u>Entrada tambor</u>		<u>Salida tambor</u>		<u>Equivalencia en A.S.T.M.</u>
<u>Fracción</u>	<u>Peso</u>	<u>Fracción</u>	<u>Peso</u>	<u>Peso</u>
<u>(mm.)</u>	<u>(%)</u>	<u>(mm.)</u>	<u>(%)</u>	<u>(%)</u>
15-10	87,19	> 6,3	75,89	82,5
10-8	12,81	6,3-0,6	18,89	15,1
10-8	12,81	< 0,6	5,22	2,4

c. Degradación con la reducción

Los ensayos de reductibilidad en lecho estático permiten llegar al conocimiento de la degradación imputable a la reducción, mediante la comparación de las granulometrías car gadas al horno, y las que salen de él, al final del ensayo.

En el ensayo estático, el peso de la muestra, ci clo térmico, composición y caudal de gases reductores, son los mismos del ensayo LINDER.

Consideramos como estimadores la producción de polvos (fracciones 1,7-0,6 mm. y < 0,6 mm.). Los resultados son los indicados en la tabla 3. 5.

TABLA 3. 5.

DEGRADACION CON LA REDUCCION

Fracción (mm.)	Degradación %	
	1,7-0,6 (mm.)	<0,6 (mm.)
40-5	0,31	0,12
3,15-6,30	0,81	0,32
31,5-40	0,55	0,17

Los resultados obtenidos nos indican que la producción de polvos por la reducción se puede considerar nula.

d. Degradación con la reducción y la abrasión

Mediante el ensayo LINDER, se llega al conocimiento de la degradación experimentada por el mineral a causa de la reducción y de la abrasión simultáneamente, comparando las granulometrías cargadas en el horno y las que salen de él. Los resultados obtenidos se encuentran en la tabla 3. 6.

TABLA 3. 6.

DEGRADACION CON LA REDUCCION Y LA ABRASION

Fracción (mm.)	Degradación %	
	1,7-0,6 (mm.)	<0,6 (mm.)
40-5	6,50	4,93
3,15-6,30	4,55	3,07
31,5-40	11,37	8,54

Los valores obtenidos con la fracción 31,5-40 mm., se pueden considerar ligeramente superiores al límite tolerado.

### 3. 3. 2. Minerales de hierro

Los minerales de hierro utilizados durante el período del ensayo fueron los siguientes: Mineral Cassinga y mineral Goa.

El mineral Cassinga forma un treinta por ciento del lecho de fusión durante todo el período del ensayo. Las principales características físicas y químicas de este mineral son las siguientes.

El análisis químico medio, es el siguiente: (minerales en estado natural).

	<u>%</u>
H <sub>2</sub> O.....	1,2
Fe <sub>T</sub> .....	61,62
SiO <sub>2</sub> .....	7,35
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	3,36
CaO.....	0,27
MgO.....	0,06
Mn.....	0,11
S.....	0,026
P.....	0,089
R.I. ....	1,20

El análisis granulométrico medio está comprendido entre los siguientes tamaños:

<u>mm</u>	<u>%</u>
> 70 .....	3,32
35-70 .....	16,68
8-35 .....	69,67
< 8 .....	10,33

Se realizó semanalmente el control de su composición.

El mineral Goa constituyó un 10% del lecho de fusión del horno, durante todo el período del ensayo, siendo necesaria su utilización para elevar el contenido en manganeso del arrabio, por exigencias de la acería.

El análisis químico medio es el siguiente; correspondiendo a los minerales en estado natural.

	<u>%</u>
H <sub>2</sub> O.....	6,80
Fe <sub>T</sub> .....	47,20
SiO <sub>2</sub> .....	3,26
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	9,00
CaO.....	0,002
MgO.....	0,05

	<u>%</u>
Mn.....	4,39
S.....	0,049
P.....	0,044

El análisis granulométrico medio está comprendido entre los siguientes tamaños:

<u>mm</u>	<u>%</u>
> 50 .....	15,54
18-50 .....	72,59
< 8 .....	11,87

El control de composición se realiza semanalmente.

Con el fin de prever el futuro comportamiento de los dos minerales, Cassinga y Goa en la marcha del horno alto, se realizaron los ensayos de reductibilidad LINDER y ESTATICO y otros para su caracterización y calificación.

En la tabla 3. 7. se recogen los resultados obtenidos en los ensayos de reducción.



TABLA 3. 7.

REDUCTIBILIDAD

<u>Mineral</u>	<u>Fracción</u> <u>(mm.)</u>	<u>Fe<sub>T</sub></u> <u>(%)</u>	<u>Fe<sup>++</sup></u> <u>(%)</u>	<u>Fe<sup>0</sup></u> <u>(%)</u>	<u>Reducción</u> <u>(%)</u>	<u>Metalización</u> <u>(%)</u>
CASSINGA	40-5	64,75	33,93	23,00	52,98	35,52
CASSINGA	3,15-6,3	74,48	36,20	30,12	56,63	40,44
CASSINGA	31,5-40	64,54	36,09	9,69	33,65	10,78
GOA	40-5	73,12	30,76	37,06	64,70	50,68
GOA	3,15-6,3	69,49	22,21	43,19	72,80	62,12

Los minerales ensayados poseen una buena reducti  
bilidad en cualquiera de sus tamaños, aumentando su valor al  
disminuir la granulometría como era de esperar.

La variación de volumen de los dos minerales con  
la reducción, se puede considerar nula en las tres fracciones  
ensayadas.

Análogamente se puede considerar nula la producción  
de polvos por choque térmico en los dos minerales.

Los resultados de los ensayos realizados para la  
determinación de la resistencia a la abrasión se encuentran en  
la tabla 3. 8

TABLA 3. 8.

RESISTENCIA A LA ABRASION

<u>Mineral</u>	<u>Fracción (mm.)</u>	<u>% Degradación</u>					
		<u>Crudo</u>		<u>Red. Linder</u>		<u>Red. Estático</u>	
		<u>1,7-0,6</u>	<u>&lt;0,6</u>	<u>1,7-0,6</u>	<u>&lt;0,6</u>	<u>1,7-0,6</u>	<u>&lt;0,6</u>
CASSINGA	40-5	1,03	6,90	6,55	21,10	13,75	32,65
CASSINGA	3,15-6,30	0,97	3,98	2,97	13,15	6,33	14,55
CASSINGA	31,5-40	0,50	2,72	9,28	25,20	9,40	37,25
GOA	40-5	2,15	19,9	8,35	14,45	13,70	29,02
GOA	3,15-6,30	2,18	14,9	5,00	9,00	12,10	33,90
GOA	31,5-40	1,47	13,9	6,32	17,78	7,22	58,77

Los valores de la degradación del mineral Cassin ga crudo indican que soportará bien las manipulaciones dentro de la fábrica, mientras que el mineral Goa crudo, producirá una mayor cantidad de polvo.

Como era de esperar todas las muestras ensayadas resisten mejor en crudo las acciones abrasivas del ensayo MINIMICUM que en estado de reducidas, cualquiera que sea el grado de reducción y en general las reducidas en el aparato estático son mas abrasivas que las del horno Linder.

La degradación con la reducción de los dos minerales ensayados se puede considerar nula, no siendo así la de-

gradación sufrida con la reducción y la abrasión, cuyos valores se encuentran en la tabla 3. 9.

TABLA 3. 9.

DEGRADACION CON LA REDUCCION Y LA ABRASION

<u>Mineral</u>	<u>Fracción</u> <u>(mm.)</u>	<u>Degradación (%)</u>	
		<u>1,6-0,6</u> <u>(mm.)</u>	<u>&lt; 0,6</u> <u>(mm.)</u>
CASSINGA.	40-5	6,95	14,81
CASSINGA	3,15-6,30	5,4	6,8
CASSINGA	31,5-40	9,05	20,36
GOA.	40-5	8,20	37,8
GOA	3,15-6,30	12,0	31,7
GOA	31,5-40	12,70	33,67

La producción de polvos de los minerales Cassinga y Goa será grande, dando lugar a transtornos operacionales, como disminución de la permeabilidad.

### 3. 3. 3. Coque

El coque utilizado durante el período del ensayo fué fabricado en las baterías de coque de la Factoría, sometién-dole posteriormente a un cortado en la máquina cortadora instala-da para tal fin entre la batería y la planta de clasificados, en donde se cribó con el fin de delimitar los tamaños del coque que se introduce en el horno. Diariamente, bien en los turnos de la mañana o tarde se hace una representativa toma de muestras con el fin de realizar los análisis, determinaciones granulométricas y ensayos físicos para su caracterización.

En este punto se estudia en primer lugar la in-fluencia del cortado sobre la resistencia física del coque y la granulometría del mismo y en segundo lugar el rendimiento de la coquería y el coste del cortado.

El día 9 de Febrero inició su trabajo la cortado-ra preparada para cortar a tamaño 30 - 75 mm. hasta el día 20 de Abril, fecha en que se cambia la distancia entre los discos para producir un cortado a 20 - 65 mm., continuando con esta granulome-tría hasta el día 2 de Junio en que se vuelve a utilizar el coque normal, dejando fuera de servicio la cortadora.

En el apartado 5. 6. se recogen los detalles dia-rios de las características del coque utilizado: análisis, granu-lometrías y los resultados de los ensayos MICUM, IRSID, etc.

TABLA 3. 10.

CARACTERISTICAS FISICAS DEL COQUE POR PERIODOS

Período	1º (1/2 al 5/2)	2º (9/2 al 19/4)	3º (20/4 al 31/5)	4º (7/6 al 15/6)
Carga	Preparada.	Preparada	Preparada	Sin prepar
Coque	Normal	Cortado (30-75mm.)	Cortado (20-65mm.)	Normal
Control	Si	Si	Si	Si
Humedad	11,77	9,11	7,90	6,73
Carbono fijo *	74,73	77,97	79,54	80,56
Cenizas *	11,65	11,26	10,95	11,09
Volátiles *	1,85	1,66	1,61	1,62
<u>Análisis granulo- métrico</u>				
> 80	23,40	13,58	11,25	24,85
60 - 80	42,80	41,56	42,78	39,40
50 - 60	15,60	20,44	20,61	17,11
30 - 50	17,30	23,83	24,13	16,93
20 - 30	0,42	0,66	0,75	0,73
10 - 20	0,10	0,12	0,10	0,11
< 10	0,42	0,25	0,20	0,25
<u>Granulometría me- dia</u>				
MICUM 40	67,5	63,2	62,8	67,2
MICUM 10	67,13	69,71	73,35	73,26
MICUM 10	7,73	7,36	6,23	7,03
IRSID 20	73,70	76,26	77,92	75,80
IRSID 10	21,70	19,51	18,65	20,80

\* En estado natural

Los valores medios de las características mas importantes del coque durante los períodos considerados del ensayo se recogen en la tabla 3. 10.

El coque fué en todos los períodos de mediana calidad pero uniforme, siendo el carbono fijo y las cenizas del coque seco del orden de 85% y 12% respectivamente. La regularidad de características se ha acentuado todavía más con el cortado.

Teniendo en cuenta que la calidad de los coques de los distintos períodos, debido a las mezclas y la coquización, presentó pequeñas diferencias antes del cortado, es decir, que las correspondientes a los períodos de referencia y 4º eran similares pero ligeramente superiores a los del 1º y 3º (muy semejantes entre sí) y las de estos algo mejores que las del 2º período, se llega a las siguientes conclusiones:

- El análisis y características mecánicas medias del coque del período de referencia (Junio, Julio y Agosto de 1970) determinadas por la factoría, coincidieron con las del 4º período (referencia pero con control) de la tabla 3. 10. , salvo en el  $M_{40}$  que fué inferior en tres unidades.
- En el transcurso del primer período al cuarto, se mejoró la operación de apagado del coque en

la batería, lo que se acusó en la disminución de la humedad del coque.

- Al cortar el coque se mejoró su granulometría, disminuyendo la fracción  $>80$  mm. y el valor de la dimensión media. No existió una diferencia acusada entre las granulometrías de los coques cortados a 75 - 30 mm. y a 65 - 20 mm., debido a que no se aproximaron suficientemente los rodillos de la cortadora en el 2º caso.
- La resistencia mecánica ( $M_{40}$ ) y la abrasión ( $M_{10}$ ) determinadas por el ensayo MICUM son superiores en los periodos 2º y 3º, que se cortó el coque, que en el 1º sin cortar, como era de esperar. También se observa la superioridad del coque cortado a 65 sobre el de 75 que no parece sea totalmente debido al efecto de una mayor estabilización, ya que las granulometrías conseguidas son muy parecidas, si no al hecho de las diferencias de características mecánicas de los coques de partida producidos en ambos periodos antes de cortar los. Por esta misma razón no es de extrañar que las características mecánicas del coque del 4º periodo que con las de referencia iniciales son las mejores de todos los producidos en la batería durante el ensayo, resulten intermedias entre las

correspondientes a los coques cortados a 75 y 65 mm.

- Los resultados del ensayo IRSID de las características mecánicas de los coques de los distintos períodos, confirman la conclusión anterior, es decir, que la calidad (estimada por la cohesión  $I_{20}$  y la abrasión  $I_{10}$ ) mejora al cortar a 75-30 mm. y de nuevo si el cortado se hace a 65-20 mm.

Con el fin de conocer los rendimientos de la coquería cuando se corta el coque, se recogen en la tabla 3.10. las proporciones de las tres clases de coque en las que según sus granulometrías y usos en que se descompone la producción de la batería en cada período. El coque metalúrgico es la fracción que se destina al horno alto, está constituida por lo mayor de 30 mm. en todos los períodos salvo el 3º, en que la fracción 20 - 30 mm. se incorpora al coque metalúrgico. La fracción 7 - 30 mm. ó 7-20 mm. en el citado tercer período constituye el coque de calefacción y la 0-7 mm. los finos.

De la tabla 3. 11. se deducen las siguientes consecuencias del cortado del coque sobre los rendimientos:

- No se ha producido aumento de finos al cortar el coque.



- Al cortar a 30 - 75 mm. no varía prácticamente el rendimiento en coque metalúrgico de los períodos de referencia sin cortar.

- En el período tercero, al cortar el coque a 20-65mm. el rendimiento de la batería aumentó un 4%.

TABLA 3. 11.

RENDIMIENTO DE LA BATERIA DE COQUE DURANTE LOS DISTINTOS PERIODOS

<u>Período</u>	<u>Coque</u>	<u>Coque metalúrgico</u> <u>%</u>	<u>Coque de calefacción</u> <u>%</u>	<u>Finos</u> <u>%</u>
Referencia *	Normal	89,30	4,25	6,45
1º	Normal	88,30	5,20	6,50
2º	(75-30 mm.)	89,70	4,30	6,00
3º	(65-20 mm.)	91,90	3,40	4,70
4º	Normal	90,02	4,25	5,73
5º **	Normal	90,10	4,20	5,70

El cálculo del coste de la operación de cortado, si no es excesivamente riguroso por el breve tiempo de funcionamiento (4 meses), durante el que funcionó la cortadora, aporta un orden de magnitud que razonablemente puede considerarse como muy próximo de la realidad, evaluada por un período bastante mayor (un año como mínimo).

\* Referencia antes del ensayo

\* \* Referencia después del ensayo

Dicho coste se refiere a toneladas de coque cortado, habiendose considerado como período de trabajo de la máquina cortadora para evaluación de los datos el mes más representativo de su marcha.

Los datos de los factores que intervienen en el costo son los siguientes:

<u>Concepto</u>	<u>Cantidad</u>	<u>Precio</u>	<u>Importe</u>
1. Energía	1.800 Kw	1,20	2.160
2. Mano de Obra	720 horas	75,00	54.000
3. Mantenimiento			
- Ajustador	4 horas	100,00	400
- Ayudante	4 horas	80,00	320
- Aceite	2 litros	22,00	44
- Accesorios	Parte proporcional cuchillas (a)		9.027
4. Amortización	Tasa mensual considerando 10 años (b)		<u>703</u>
TOTAL PESETAS.....			66.654.-

(a) Se considera que un juego de cuchillas cuesta 81.000 Ptas. y que tiene una duración media de 70.000 t. de coque cortado

(b) El coste de la máquina cortadora es 844.470 Ptas.

Media mensual del coque cortado durante el ensayo  
7.850 toneladas métricas.

El precio de coste será:

$$\frac{66.654}{7.850} = 8,50 \text{ Ptas./ tonelada coque cortado}$$

3. 3. 4. Fundente

Como fundente se utilizó durante todo el período del ensayo, caliza procedente de una cantera cercana, bien clasificada. El análisis químico medio de la caliza es el siguiente:

	<u>%</u>
CaO.....	54,00
P.....	0,025
SiO <sub>2</sub> .....	0,50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> .....	1,00
MgO.....	1,00
S.....	0,06

El resultado medio del análisis granulométrico es el que se indica a continuación.

<u>mm.</u>	<u>%</u>
65-40	35
40-20	62
< 20	3

#### 4. PROCEDIMIENTO

##### 4. 1. MATERIAS PRIMAS CONSUMIDAS

Durante el período del ensayo, la composición del lecho de fusión se mantuvo constante, con el fin de conseguir una marcha estable del horno alto.

El contenido en hierro de la carga tuvo un valor medio del 58%, sufriendo pequeñas alteraciones, por lo cual, en una primera aproximación, podemos considerar que en un período de 24 horas, el peso de escoria por tonelada de arrabio se mantiene constante.

El coque utilizado, fabricado en la Bateria de Coque de la Factoría, fué sometido a un proceso de cortado, por primera vez en España, a un tamaño determinado, mediante una cortadora de coque, con el fin de poder estudiar la influencia de su tamaño en el proceso de fabricación del arrabio.

El horno alto utilizado, está equipado con ocho toberas de 130 mm. de diámetro, alimentadas mediante una turbosoplante, con un caudal máximo de  $48.000 \text{ N.m}^3/\text{h}$ . Las fluctua-

ciones en el caudal del viento son del orden de  $\pm 20\%$ .

El viento soplado se precalienta en las estufas, siendo su temperatura máxima en la circular del orden de  $850^{\circ}\text{C}$ . El viento soplado puede acondicionarse mediante el equipo de inyección de vapor de agua, regulando la humedad del viento hasta un valor máximo de  $30 \text{ gr.}/\text{N.m}^3$ .

#### 4. 2. PRODUCTOS ELABORADOS

El análisis medio del arrabio producido durante el período del ensayo fué el siguiente:

C = 4%; Si = 0,9%; Mn = 1,34%; S = 0,030%; P = 0,1%;

siendo un arrabio de afino, de buena calidad y gran constancia en su composición.

Se trabajó con un volumen de escoria relativamente bajo, con un índice medio de basicidad,  $\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$  del orden de 0,95, consiguiendo satisfactorias desulfuraciones en el horno alto.

La potencia calorífica media del gas de tragante alcanzó el valor de 720 Kcal/N.m<sup>3</sup>, aumentando el valor de la relación CO<sub>2</sub>/CO hasta 0,69, lo que nos da una idea del aprovechamiento térmico y reductor del gas de tragante.

#### 4. 3. LECHO DE FUSION

Durante el período del ensayo se utilizó un lecho de fusión formado por los siguientes materiales: 60% sinterizado; 30% Cassinga; 10% Goa.

Se mantiene fijo el peso de coque por carga, siendo de 2.850 Kg.coque/ carga, variando cuando es necesario el peso de mineral por carga.

Para el cálculo de la carga se hacen los siguientes supuestos:

- Consumo de coque en estado natural 660 Kg./t.a

- Composición de arrabio:

C = 4%; Si = 1%; Mn = 1,3%; P = 0,09%; S = 0,04%

- Índice de basicidad de la escoria:

$$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 0,96$$

En el apéndice 9. 2. 1., se realiza una detallada descripción del cálculo de la carga.

#### 4. 4. RECOGIDA DE DATOS

Por ser un proceso continuo, la recogida de datos se realiza durante las veinticuatro horas del día.

Podemos clasificarlos en cuatro diferentes grupos; diarios, por colada, horarios y continuos.

##### Datos diarios

Coque: Análisis químicos:

% H<sub>2</sub>O; % M.V.; % Cenizas; % C.f.; % H<sub>2</sub>

Análisis físicos:

MICUM, I.R.S.I.D., TAMBLER TEST, Granulometrías

Mineral y Sinterizado: Análisis Químicos

##### Datos por colada

Arrabio: Análisis químico; temperatura; peso.

Escoria: Análisis químico; índice de basicidad; peso.

##### Datos horarios

Volumen de soplado

Temperatura de soplado

Presión de soplado

Temperatura del gas de tragante

Presión del gas de tragante



Datos continuos

Humedad del viento soplado

Composición química del gas de tragante

## 5. RESULTADOS DE MARCHA

Con el fin de realizar estudios comparativos y ver la influencia de la preparación de la carga, de la regulación y control del horno y del tamaño del coque en la marcha, se divide el ensayo en los períodos que a continuación se describen.

Período de referencia; marcha normal del horno durante los meses de Junio, Julio y Agosto de 1970, en los que no se realiza la preparación de carga, ni el control y regulación de marcha ni acondicionamiento del coque.

Un primer período (21-I al 5-II), con carga preparada, con control y regulación del horno y coque sin acondicionar.

Un segundo período (9-II al 19-IV), con carga preparada, con control y regulación y con el coque cortado a 30-75 mm.

Un tercer período (20-IV al 31-V), con carga preparada, con control y regulación y con el coque cortado a 20-65 mm.

Un cuarto período (7-VI al 15-VI), con carga todo uno, control y regulación y con coque sin acondicionar.

Un quinto período (1-VII al 31-VII), con carga todo uno, coque sin acondicionar y con control y regulación.

En las tablas adjuntas se encuentran los resultados mensuales de marcha, durante todos los períodos del ensayo.

## 5. 1. CONSUMO DE MATERIAS PRIMAS

En las tablas 5. 1. a 5. 4. bis, se encuentra el peso por día de los materiales cargados al horno alto, durante los cuatro meses del ensayo.

Se procuró mantener constantes los porcentajes de cada uno de los materiales cargados en el horno, con el fin de conseguir una marcha estable, utilizando para la regulación del estado térmico del crisol, el vapor de agua inyectado al viento, la temperatura del viento y el volumen de viento soplado. El peso de coque por carga se mantuvo constante a lo largo del ensayo.

El control del peso de la carga que se introduce en el horno alto se realiza en carros báscula, diariamente contrastados y tarados. La carga se realiza por medio de skips.

En la introducción de una carga completa (mineral, coque y fundente) se producen dos aperturas de campana. Hasta el día 25-II el ciclo de carga era el siguiente:

c c c c / m m m m

Con el fin de pasar de marcha periférica a central, a partir del 25-II, cada ocho horas se realizó la carga según la siguiente secuencia:

c c m m / c c m m

pasando el cabo de ocho horas al siguiente ciclo:

m m c c / m m c c

consiguiendo una mayor permeabilidad en el lecho y un descenso re  
gular de la carga.

FECHA	SINTER T	CASSINGA T	GOA T	FUNDENTE T	COQUE T	SINTER %	CASSINGA %	GOA %
1-2	405,94	197,92	69,34	74,25	282,15	60,3	29,4	10,3
2-2	410,04	199,92	70,04	75,00	285,0	60,3	29,4	10,3
3-2	385,44	187,92	65,84	70,5	267,9	60,3	29,4	10,3
4-2	373,13	181,93	63,73	68,25	269,35	60,3	29,4	10,3
5-2	405,94	197,92	69,34	74,25	282,15	60,3	29,4	10,3
6-2	494,46	241,08	84,46	75,0	285,0	60,3	29,4	10,3
7-2	381,34	185,92	65,14	69,75	265,05	60,3	29,4	10,3
8-2	385,44	187,92	65,84	70,5	267,9	60,3	29,4	10,3
9-2	385,44	187,92	65,84	70,5	267,9	60,3	29,4	10,3
10-2	389,54	189,92	66,54	71,25	270,75	60,3	29,4	10,3
11-2	371,69	181,22	63,49	67,75	265,05	60,3	29,4	10,3
12-2	156,30	76,20	26,70	28,25	111,15	60,3	29,4	10,3
13-2	401,83	195,92	68,64	73,5	279,3	60,3	29,4	10,3
14-2	389,54	189,92	66,54	71,25	270,75	60,3	29,4	10,3
15-2	422,34	205,92	72,14	77,25	293,55	60,3	29,4	10,3
16-2	422,34	205,92	72,14	77,25	293,55	60,3	29,4	10,3
17-2	410,04	199,92	70,04	75,0	285,0	60,3	29,4	10,3
18-2	408,77	199,30	69,82	75,0	285,0	60,3	29,4	10,3
19-2	336,23	163,93	69,79	59,45	233,70	60,3	29,4	10,3
20-2	410,04	199,92	70,04	70,0	285,0	60,3	29,4	10,3
21-2	386,28	188,33	65,95	66,80	270,75	60,3	29,4	10,3
22-2	381,33	185,92	65,14	65,10	265,05	60,3	29,4	10,3
23-3	344,43	167,93	58,83	58,80	239,40	60,3	29,4	10,3
24-2	389,54	189,22	66,54	66,50	270,75	60,3	29,4	10,3
25-2	418,24	203,92	71,44	75,40	290,70	60,3	29,4	10,3
26-2	405,94	197,92	69,34	74,25	282,15	60,3	29,4	10,3
27-2	401,84	195,92	68,64	73,50	279,30	60,3	29,4	10,3
28-2	414,14	201,92	70,74	75,75	287,85	60,3	29,4	10,3

FECHA	SINTER	CASSINGA	GOA	FUNDENTE	COQUE	SINTER	CASSINGA	GOA
	T	T	T	T	T	%	%	%
1-3	418,24	203,92	71,44	76,5	290,7	60,3	29,4	10,3
2-3	414,14	201,92	70,74	75,75	287,85	60,3	29,4	10,3
3-3	401,84	195,92	68,64	73,50	279,30	60,3	29,4	10,3
4-3	431,40	215,70	71,90	72,60	293,55	60,0	30,0	10,0
5-3	433,36	236,04	75,20	72,80	296,40	58,2	31,7	10,1
6-3	543,97	290,05	92,67	74,90	304,95	58,7	31,3	10,0
7-3	389,94	207,92	66,43	63,70	259,35	58,7	31,3	10,0
8-3	472,99	265,70	83,90	70,85	293,55	57,5	32,3	10,2
9-3	385,38	191,72	70,60	66,50	270,75	59,5	29,6	10,9
10-3	212,48	100,68	34,02	36,40	159,60	61,2	29,0	9,8
11-3	406,69	183,43	62,67	66,30	290,70	62,3	28,1	9,6
12-3	378,78	170,85	58,37	61,75	270,75	62,3	28,1	9,6
13-3	438,55	201,26	66,38	66,30	290,70	62,1	28,5	9,4
14-3	414,38	202,03	70,78	69,80	290,70	60,3	29,4	10,3
15-3	380,76	190,38	63,46	64,40	262,20	60,0	30,0	10,0
16-3	398,03	193,74	67,21	65,80	267,90	60,4	29,4	10,2
17-3	415,97	202,48	70,25	67,90	276,45	60,4	29,4	10,2
18-3	413,64	211,34	70,21	71,15	276,45	59,5	30,4	10,1
19-3	402,69	205,75	68,36	70,50	267,90	59,5	30,4	10,1
20-3	555,97	284,06	94,37	76,50	290,70	59,5	30,4	10,1
21-3	197,06	100,68	33,45	34,50	131,10	59,5	30,4	10,1
22-3	16,98	5,73	1,79	2,70	11,40	69,3	23,4	7,3
23-3	105,15	46,17	12,98	16,7	76,95	64,0	28,1	7,9
24-3	160,27	71,51	21,81	25,55	116,85	63,2	28,2	8,6
25-3	201,47	88,46	24,87	30,0	142,50	64,0	28,1	7,9
26-3	253,95	111,50	31,35	37,20	176,70	64,0	28,1	7,9
27-3	393,59	176,93	50,28	48,0	228,0	63,4	28,5	8,1
28-3	391,46	182,10	68,04	55,20	262,20	63,2	29,4	7,8
29-3	391,08	181,93	45,79	54,60	259,35	63,2	29,4	7,8
30-3	367,35	178,95	44,30	54,50	245,10	62,2	30,3	7,5
31-3	475,27	231,52	57,31	57,85	253,65	62,2	30,3	7,5

FECHA	CONSUMO DE MATERIALES					PORCENTAJES		
	SINTER	CASSINGA	GOA	FUNDENTE	COQUE	SINTER	CASSINGA	GOA
	T	T	T	T	T	%	%	%
1-4	202,69	98,57	25,13	30,40	136,80	62,1	30,2	7,7
2-4	203,95	99,35	24,59	28,55	136,80	62,2	30,3	7,5
3-4	407,72	198,61	49,16	57,00	270,75	62,2	30,3	7,5
4-4	432,16	228,24	55,09	63,00	299,25	60,4	31,9	7,7
5-4	358,08	174,44	43,18	50,40	239,40	62,2	30,3	7,5
6-4	433,47	211,16	52,26	60,60	287,85	62,2	30,3	7,5
7-4	416,30	202,80	50,20	58,20	276,45	62,2	30,3	7,5
8-4	442,05	215,34	53,30	61,80	293,55	62,2	30,3	7,5
9-4	424,89	206,98	51,23	59,40	282,15	62,2	30,3	7,5
10-4	416,30	202,80	50,20	58,20	276,45	62,2	30,3	7,5
11-4	442,05	215,34	53,30	61,80	293,55	62,2	30,3	7,5
12-4	566,29	289,60	66,40	71,09	296,40	61,4	31,4	7,2
13-4	438,39	224,20	51,40	66,30	290,70	61,4	31,4	7,2
14-4	516,99	264,39	60,62	68,90	302,10	61,4	31,4	7,2
15-4	442,69	226,39	51,91	66,95	293,55	61,4	31,4	7,2
16-4	408,31	208,81	47,91	61,75	270,75	61,4	31,4	7,2
17-4	434,10	222,0	50,90	65,65	287,85	61,4	31,4	7,2
18-4	386,82	197,82	45,36	58,50	256,50	61,4	31,4	7,2
19-4	416,90	213,20	48,89	66,55	276,45	61,4	31,4	7,2
20-4	429,80	219,80	50,40	70,0	285,0	61,4	31,4	7,2
21-4	446,99	228,59	52,42	72,80	296,40	61,4	31,4	7,2
22-4	446,99	228,59	52,42	72,80	296,40	61,4	31,4	7,2
23-4	434,10	222,0	50,90	70,70	287,85	61,4	31,4	7,2
24-4	412,61	211,00	48,38	67,20	273,60	61,4	31,4	7,2
25-4	434,10	222,0	50,90	70,70	287,85	61,4	31,4	7,2
26-4	459,88	235,18	53,93	74,90	304,95	61,4	31,4	7,2
27-4	425,50	217,60	49,89	69,30	282,15	61,4	31,4	7,2
28-4	434,10	222,0	50,90	70,70	287,85	61,40	31,4	7,2
29-4	378,22	193,42	44,35	61,60	250,80	61,40	31,4	7,2
30-4	369,63	189,03	43,34	60,20	245,0	61,4	31,4	7,2

FECHA	CONSUMO DE MATERIALES					PORCENTAJES		
	SINTER T	CASSINGA T	GOA T	FUNDENTE T	COQUE T	SINTER %	CASSINGA %	GOA %
1-5	403,13	201,24	51,13	65,55	270,75	61,5	30,7	7,8
2-5	404,48	206,80	47,42	64,90	270,75	61,4	31,4	7,2
3-5	352,43	180,24	41,33	57,40	233,70	61,4	31,4	7,2
4-5	425,50	217,60	49,89	69,30	282,15	61,4	31,4	7,2
5-5	446,99	228,59	52,42	72,80	296,40	61,4	31,4	7,2
6-5	429,80	228,20	42,00	70,0	285,0	61,4	32,6	6,0
7-5	415,53	217,50	38,26	66,50	270,75	61,9	32,4	5,7
8-5	443,87	226,55	39,77	69,30	282,15	62,5	31,9	5,6
9-5	431,00	225,08	39,51	68,60	279,30	62,5	31,9	5,6
10-5	454,50	231,98	40,72	70,70	287,85	62,5	31,9	5,6
11-5	377,67	186,67	33,36	56,60	245,10	63,4	31,0	5,6
12-5	379,82	177,21	33,67	56,75	245,10	64,3	30,0	5,7
13-5	409,75	200,35	36,19	59,80	262,20	63,4	31,0	5,6
14-5	405,12	198,09	35,78	58,50	256,50	63,4	31,0	5,6
15-5	363,27	189,00	32,65	53,95	236,55	62,3	31,9	5,6
16-5	368,80	180,33	32,57	53,95	236,55	63,4	31,0	5,6
17-5	427,63	209,09	37,77	61,75	270,75	63,4	31,0	5,6
18-5	418,63	204,69	36,98	60,45	265,05	63,4	31,0	5,6
19-5	179,10	81,38	16,33	25,10	114,00	64,7	29,4	5,9
20-5	413,56	187,92	37,71	56,40	267,90	64,7	29,4	5,9
21-5	449,46	209,70	39,84	60,00	285,00	64,3	30,0	5,7
22-5	341,10	205,80	39,10	58,80	279,30	64,3	30,0	5,7
23-5	462,37	226,08	40,84	61,80	293,55	63,4	31,0	5,6
24-5	441,14	215,70	38,96	58,80	279,30	63,4	31,0	5,6
25-5	463,64	226,70	41,0	61,80	293,55	63,4	31,0	5,6
26-5	427,63	209,09	37,77	57,00	270,75	63,4	31,0	5,6
27-5	468,14	228,90	41,35	62,40	296,40	63,4	31,0	5,6
28-5	481,65	235,51	42,54	64,20	304,95	63,4	31,0	5,6
29-5	436,63	213,50	38,56	58,20	276,45	63,4	31,0	5,6
30-5	414,13	202,49	36,58	55,20	262,20	63,4	31,0	5,6
31-5	459,14	224,50	40,55	61,20	290,70	63,4	31,0	5,6



## 5. 2. CONDICIONES DE MARCHA

En las tablas 5. 5. a 5. 8. bis, se encuentran los valores medios diarios de las condiciones del viento soplado: presión, temperatura, volumen, humedad, temperatura y presión en el tragante.

Los controles de las condiciones del viento se realizaron cada hora. Se regula la humedad en función de las necesidades térmicas del proceso, mediante el equipo de control y regulación de inyección de vapor de agua, instalado para el ensayo, variando la temperatura y volumen de soplado en función de la marcha del horno.

Se acusaron fluctuaciones y deficiencias en el soplado, no pudiendo alcanzar altos valores, por causa de deficiencias en el vapor suministrado por calderas y por falta de vacío en el condensador de la turbosoplante.

# CONDICIONES DE MARCHA

FECHA	VOLUMEN de SOPLADO Nm <sup>3</sup> /h.	PRESION de SOPLADO cm. Hg	TEMPER. de VIENTO °C	PRESION TRAGANTE m H <sub>2</sub> O	TEMPER. GAS TRAGANTE °C	VACIO TURBO-SOPL. -Kg/cm <sup>2</sup>	HUMEDAD NATURAL gr/Nm <sup>3</sup>	HUMEDAD VIENTO gr/Nm <sup>3</sup>
1-I	36.820	57	647	25,3	110	0,88	5,90	5,90
2-II	35.917	55	670	26,4	80	0,86	5,81	5,81
3-II	33.730	56	692	25,0	102	0,85	5,27	5,27
4-I	34.695	60	691	25,4	100	0,75	5,74	5,74
5-II	34.375	55	683	23,5	81	0,76	6,54	6,54
6-I	34.000	54	705	25,1	98	0,76	6,45	6,45
7-II	32.583	58	732	22,3	90	0,75	6,07	6,07
Media	34.588	56	688	24,7	93	0,80	6,05	6,05
8-II	32.835	56	729	27,0	80	0,65	6,79	13,08
9-II	32.935	57	695	24,5	90	0,61	6,93	11,11
10-II	33.080	58	725	25,2	77	0,59	6,90	14,02
11-I	34.042	60	712	20,	101	0,67	6,12	12,70
12-II	35.600	59	686	23,	105	0,71	6,21	6,21
13-II	37.854	56	710	26,	107	1,00	6,46	14,51
14-II	38.125	57	645	27,	143	1,00	6,75	15,5
Media	34.924	57	701	25	102	0,84	6,59	12,44
15-II	36.833	55	634	27,	95	1,00	6,82	15,5
16-II	37.520	58	689	26,	102	1,00	7,0	8,33
17-II	36.750	55	699	30,	122	0,96	8,31	15,5
18-I	36.683	56	716	28,	92	0,93	7,80	11,15
19-II	36.681	60	768	26,	113	0,97	8,10	15,5
20-I	36.541	58	745	29,	96	0,84	7,50	15,5
21-I	36.833	55	772	21,	102	0,84	7,52	15,5
Media	36.320	56	717	26	103	0,93	7,57	13,85
22-I	33.937	49	673	20,	94	0,60	6,99	15,5
23-I	34.395	54	739	29,	100	0,80	5,73	13,02
24-I	34.809	57	753	24,	120	0,95	5,40	10,57
25-I	35.292	59	753	28,	96	1,00	5,27	7,93
26-I	35.000	56	700	25,	107	0,99	6,39	15,5
27-I	35.458	56	700	25,	108	0,95	7,01	15,5
28-I	35.729	55	700	24,	85	0,91	7,99	15,5
Media	34.945	55	731	26	101	0,91	6,04	14,75
Media	35.194	56	709	25,42	100	0,87	6,67	11,83

	VOLUMEN de SOPLADO Nm <sup>3</sup> /h.	PRESION de SOPLADO cm. Hg	TEMPER. de VIENTO °C	PRESION de TRAGANTE cm. H <sub>2</sub> O	TEMPER. de TRAGANTE °C	VACIO de BURBO-SOPL. cm <sup>2</sup>	DENSIDAD de NATURAL gr/Nm <sup>3</sup>	VELOCIDAD de VIENTO m/seg
1-III	35.688	52	703	31	111	0,94	5,9	17,5
2-III	36.895	52	713	30	135	0,89	6,4	17,9
3-III	37.666	52	616	31	128	0,88	6,4	18,5
4-III	38.020	57	635	28	100	0,91	6,7	18,5
5-III	37.791	54	685	28	100	0,90	6,5	16,0
6-III	37.580	55	683	32	83	0,94	5,0	14,5
7-III	36.760	51	738	27	80	0,95	4,5	14,5
Media	37.200	53	681	29	105	0,91	5,77	16,77
8-III	35.730	47	802	31	85	0,91	5,5	8,8
9-III	35.375	41	817	30	90	0,89	5,2	5,2
10-III	32.866	43	790	30	114	0,98	6,2	6,2
11-III	36.520	47	730	30	118	0,86	5,7	7,1
12-III	34.750	51	805	29	107	0,92	5,7	5,7
13-III	36.460	52	730	29	117	0,85	6,9	7,8
14-III	36.850	54	702	23	100	0,59	6,6	6,6
Media	35.507	49	768	28	104	0,85	5,97	6,77
15-III	36.540	57	704	26	104	0,80	6,6	6,6
16-III	35.666	53	678	25	101	0,78	6,6	10,5
17-III	35.600	52	710	23	108	0,74	7,1	12,4
18-III	34.980	53	720	24	93	0,73	7,5	11,3
19-III	36.000	54	699	25	78	0,75	6,4	14,0
20-III	36.460	52	704	25	66	0,72	6,1	14,0
21-III	35.000	53,5	700	19	92	0,73	7,0	14,70
Media	35.749	53	702	23	91	0,75	6,75	11,9
22-III	-	-	-	-	-	-	-	-
23-III	17.000	31	740	-	117	1,0	7,1	7,1
24-III	20.740	35	786	9	138	0,99	7,2	7,2
25-III	23.730	38	745	20	160	0,96	7,2	7,2
26-III	26.900	34	704	22	110	0,95	7,7	7,7
27-III	30.730	40	662	22	99	0,88	7,8	7,8
28-III	34.250	45	627	23	95	0,67	7,1	7,1
Media	25.558	37	710	19	119	0,90	7,35	7,35
29-III	33.700	45	650	23	117	0,56	6,4	6,4
30-III	33.400	47	633	25	118	0,89	7,5	8,6
31-III	32.915	46	648	24	86	0,51	7,5	10,0
32-III	33.353	46	643	24	107	0,65	7,13	8,33
Media	33.470	47	700	24	105	0,81	6,59	10,22

VOLUMEN de SOPLADO Nm³/h.	PRESION de SOPLADO cm. Hg	TEMPER. de VIENTO °C	PRESION de TRAGANTE cm. H₂O	TEMPER. de TRAGANTE °C	VACIO TURBO-SOPL. -Kg/cm²	HUMEDAD NATURAL gr/Nm³	HUMEDAD VIENTO gr/Nm³	
1-IV	30.800	41	675	21	100	0,76	7,36	8,32
2-IV	31.785	50	705	27	66	0,80	7,36	7,36
3-IV	36.791	59	685	23	78	0,96	7,75	8,69
4-IV	36.666	55	722	25	80	0,98	7,68	11,09
5-IV	34.250	57	766	25	78	0,98	7,76	10,61
6-IV	34.271	54	780	26	87	0,96	8,28	11,1
7-IV	35.160	53	780	26	78	0,96	8,83	12,63
Media	34.246	52	687	24	83	0,91	7,86	9,97
8-IV	35.437	53	788	24	75	0,94	8,76	13,1
9-IV	34.666	52	767	22	76	0,94	8,67	11,6
10-IV	35.125	53	756	26	84	0,93	9,10	11,9
11-IV	35.604	49	762	27	75	0,93	8,35	15,2
12-IV	36.041	50	699	26	131	0,93	9,10	17,2
13-IV	35.520	50	723	25	95	0,93	8,97	17,3
14-IV	35.062	49	766	28	73	0,89	9,06	16,5
Media	35.350	50	751	25	87	0,92	8,85	14,68
15-IV	33.730	47	760	26	91	0,91	8,84	15,3
16-IV	32.541	42	779	26	90	0,99	8,61	15,3
17-IV	33.958	46	784	28	103	0,99	8,09	13,7
18-IV	32.291	44	698	23	105	0,99	8,96	9,4
19-IV	35.000	47	710	24	91	0,96	9,13	12,25
20-IV	35.000	46	791	25	87	0,94	9,62	13,4
21-IV	35.645	47	710	24	87	0,95	9,43	16,1
Media	34.023	45	740	25	93	0,96	8,95	13,63
22-IV	35.208	49	743	24	100	0,88	9,80	14,5
23-IV	34.291	48	761	25	91	0,89	7,87	10,2
24-IV	33.958	45	718	23	80	0,96	7,31	10,15
25-IV	34.000	44	749	23	102	0,94	8,24	12,3
26-IV	34.375	45	783	24	95	0,96	8,95	13,0
27-IV	34.500	46	798	24	107	0,94	9,17	11,9
28-IV	34.562	45	726	24	110	0,93	9,85	13,6
Media	34.413	46	754	24	97	0,92	8,74	12,23
29-IV	34.136	42	690	24	120	0,93	10,37	14,0
30-IV	32.167	36	655	24	120	0,92	9,07	14,0
Media Mensual	34.418	47	729	24	92	0,93	8,67	12,72

Velocidad m/s	VOLUMEN de SOPLADO Nm³/h.	PRESION de SOPLADO cm. Hg	TEMPER. de VIENTO °C	PRESION de TRAGANTE cm. H₂O	TEMPER. de TRAGANTE °C	VACIO TURBO-SUPL. -kg/cm²	HUMEDAD NATURAL gr/Nm³	HUMEDAD de VIENTO gr/Nm³
1-V	33.042	40	736	23	108	0,91	7,49	11,85
2-V	34.583	46	736	22	97	0,86	6,98	13,00
3-V	35.309	44	679	23	139	0,83	7,32	12,64
4-V	35.604	45	716	23	94	0,71	8,55	14,00
5-V	35.229	45	723	24	110	0,60	8,42	13,78
6-V	34.687	44	712	25	87	0,67	8,63	12,37
7-V	35.020	41	678	25	104	0,62	9,27	15,58
Media	34.782	43	711	23	105	0,74	8,09	13,31
8-V	36.063	44	701	25	93	0,60	9,82	16,00
9-V	35.500	47	766	24	96	0,69	9,45	15,35
10-V	34.791	45	781	24	80	0,71	9,06	14,25
11-V	33.673	44	814	23	87	0,76	9,30	10,15
12-V	35.521	43	791	24	86	0,66	10,07	10,32
13-V	35.270	42	707	22	72	0,53	9,24	13,35
14-V	34.833	43	757	22	88	0,47	9,91	13,58
Media	35.092	44	759	23	86	0,63	9,55	13,28
15-V	34.704	42	701	22	74	0,48	10,00	14,32
16-V	35.000	43	745	18	61	0,88	9,83	10,64
17-V	35.750	45	770	24	69	0,75	8,20	8,70
18-V	34.833	45	779	22	62	0,83	8,27	8,27
19-V	32.950	46	780	23	81	0,58	8,78	8,78
20-V	36.166	51	770	21	80	1,00	9,47	9,47
21-V	35.708	51	731	23	95	1,00	8,97	8,97
Media	35.015	46	753	22	74	0,78	9,07	9,87
22-V	35.291	49	713	23	118	1,00	9,23	12,08
23-V	35.520	48	720	23	89	1,00	7,78	14,44
24-V	35.370	49	715	23	106	0,98	7,62	14,50
25-V	34.417	49	719	23	83	0,95	8,06	12,96
26-V	34.543	52	746	24	71	0,95	8,71	10,16
27-V	35.229	54	776	24	88	0,92	9,09	9,09
28-V	34.041	51	794	24	83	0,93	8,12	8,12
Media	34.915	50	740	23	91	0,96	8,37	11,61
29-V	33.250	50	794	24	87	0,84	9,21	9,21
30-V	33.291	50	721	23	89	0,84	9,64	9,64
31-V	33.291	49	685	23	88	0,80	9,46	9,46
Media	34.789	46	740	23	89	0,78	8,83	11,77

FECHA	VOLUMEN DE SOPLADO N m <sup>3</sup> /h	PRESION DE SOPLADO cm. Hg	TOMA DE VIENTO °C	PRESION DEL TRAGANTE cm. H <sub>2</sub> O	TEMP. GAS TRAGANTE °C	VACIO TURBOSO- PLANTE -Kg/cm <sup>2</sup>	HUMEDAD NATURAL gr/N m <sup>3</sup>	HUMEDAD VIENTO gr/N m <sup>3</sup>
1-VI	33333	47	672	25	75	0,73	9,40	9,40
2-VI	33667	43	665	23	77	0,76	10,10	10,10
3-VI	33125	43	665	24	62	0,82	9,88	9,88
4-VI	33416	46	675	24	78	0,77	10,79	13,93
5-VI	34147	49	678	23	82	0,76	10,42	15,00
6-VI	32940	48	701	21	93	0,73	10,75	10,75
7-VI	30152	49	769	23	87	0,82	10,16	10,16
8-VI	30300	48	764	23	94	0,79	9,79	9,79
9-VI	28830	50,4	774	24	102	0,75	9,92	9,92
10-VI	27000	49	772	22	92	0,82	9,00	9,00
11-VI	33850	45	770	25	109	0,99	8,54	8,54
12-VI	36200	50	735	23	147	0,90	7,70	7,70
13-VI	36460	41	662	21	169	0,90	10,10	10,10
14-VI	37480	43	600	22	145	0,88	9,24	9,24
15-VI	36791	42	604	24	139	0,88	9,95	9,95
16-VI	37277	42	614	22	151	0,85	9,93	9,93

### 5. 3. PRODUCCIONES Y CALIDAD DEL ARRABIO

En las tablas 5. 9. a 5. 12. bis, se encuentran re cogidas las principales características del arrabio.

El control rápido del % Si en el arrabio fué reali zado en el equipo "Strölein", en cada una de las tres probetas co rrespondientes al principio, mitad y final de cada colada, con el fin de conocer la tendencia del arrabio a enfriarse o a calentar-se. El control del resto de los elementos del arrabio se realizó en los laboratorios centrales de la factoría.

En cada colada se tomaron tres temperaturas, al principio mitad y final de la colada, mediante la caña pirométri ca de inmersión.

El arrabio colado en las cucharas se pesa y normal mente se envía a la acería, Cuando por exceso de producción, la acería no admite más líquido, el excedente se cuela en lingotes, en una cinta coladora.

La calidad del arrabio elaborado es muy satisfacto ria, por su regularidad de composición, bajo contenido en azufre y silicio, lo que simplifica y abarata la operación de afino en la acería.

La producción de arrabio aumentó espectacularmen- te desde el momento que se inició el control y regulación del hor

no alto, como puede verse en la tabla 6. 1., de datos de marcha e índices comparativos, con respecto a los tres meses de marcha normal, tomados como períodos de referencia. El 6-III se consiguió la máxima producción, alcanzando 501 t.a./día.



FECHA	Nº de cargas	Voladas	Producción Arrabio Tm.	REPARTO		Arrabio Teórico por día	Temp. del Arrabio °C	ANÁLISIS %				
				Líquido Tm.	Coladora Tm.			C	Si	Mn	P	S
1. II	99	8	444.910	404.120	40.790	395.732	1.435	3.80	0.77	1.26	0.097	0.040
2. II	100	7	402.510	332.450	70.060	399.730	1.465	3.81	0.88	1.39	0.099	0.022
3. II	94	7	387.100	242.850	144.250	375.746	1.419	3.51	0.85	1.25	0.092	0.058
4. II	91	7	377.790	334.130	43.660	363.754	—	3.82	0.92	1.43	0.093	0.033
5. II	97	7	403.930	345.230	58.700	395.732	1.417	4.07	0.99	1.55	0.094	0.022
6. II	100	7	398.590	348.590	50.000	399.730	1.423	3.81	0.76	1.25	0.099	0.033
7. II	93	7	378.300	338.300	40.000	371.748	1.434	3.57	0.91	1.44	0.111	0.018
Media	96.57	7.14	399.030	335.095	63.934	386.024	1.432	3.78	0.86	1.37	0.097	0.032
8. II	94	7	360.960	360.960	—	375.746	1.458	3.92	1.09	1.37	0.110	0.018
9. II	94	7	406.690	365.020	41.670	375.746	1.434	4.07	0.86	1.35	0.102	0.023
10. II	95	7	396.800	366.810	29.990	379.743	1.445	3.79	0.74	1.26	0.105	0.035
11. II	93	7	383.530	365.910	17.620	350.926	—	3.94	0.94	1.31	0.118	0.030
12. II	39	3	150.280	150.280	—	151.697	—	3.65	0.90	1.29	0.117	0.019
13. II	98	7	412.030	352.630	59.400	391.735	—	3.72	0.64	1.52	0.116	0.028
14. II	95	7	346.220	346.220	—	379.743	—	3.73	1.09	1.50	0.115	0.023
Media	88.85	6.42	350.930	329.690	21.240	343.619	1.445	3.86	0.89	1.38	0.111	0.025
15. II	103	7	435.800	363.440	72.360	411.721	—	3.61	0.77	1.37	0.124	0.053
16. II	103	7	413.030	364.720	48.310	411.721	—	3.59	0.84	1.31	0.115	0.032
17. II	100	7	422.640	313.230	109.410	399.730	—	3.74	0.77	1.41	0.111	0.033
18. II	100	7	430.550	289.080	141.470	399.730	—	3.59	0.80	1.32	0.117	0.052
19. II	82	6	352.330	244.130	108.200	327.778	1.437	3.88	0.75	1.34	0.115	0.031
20. II	100	7	425.800	333.930	91.870	399.730	1.389	3.41	0.62	1.33	0.113	0.058
21. II	95	7	405.900	361.350	44.550	379.743	—	3.72	0.95	1.54	0.114	0.030
Media	97.57	6.85	412.292	324.268	88.024	390.021	1.413	3.64	0.78	1.37	0.115	0.041
22. II	93	7	381.250	358.080	23.170	371.748	—	3.68	0.77	1.53	0.116	0.024
23. II	95	7	429.760	368.680	61.080	379.743	1.417	3.58	0.96	1.31	0.102	0.038
24. II	84	6	349.670	310.070	39.600	335.773	—	3.67	0.93	1.31	0.111	0.029
25. II	102	7	444.900	361.740	83.160	407.724	1.455	3.76	0.84	1.32	0.110	0.028
26. II	99	7	439.860	372.540	67.320	395.732	—	3.86	1.00	1.30	0.106	0.029
27. II	98	7	412.240	361.750	50.490	391.735	—	3.80	0.86	1.38	0.108	0.022
28. II	101	7	434.210	367.880	66.330	403.727	—	3.63	0.96	1.58	0.104	0.024
Media	96.00	6.85	413.127	357.248	55.878	383.740	1.436	3.71	0.90	1.39	0.108	0.027
Media Mensual	94.24	6.81	393.844	336.575	61.251	375.851	1.431	3.75	0.85	1.37	0.107	0.031

# A R T A B I O

FECHA	Nº de cargas	Coladas	Producción Arrabio Tm.	REPARTO		Arrabio Teórico por día	Temp. al Arrabio °C	ANALISIS %				
				Líquido Tm.	Colada Tm.			C	Si	Mn	P	S
1-3	102	7	428.670	356.400	72.270	407.724	Averiado	3.72	1.14	1.29	0.104	0.030
2-3	101	7	398.570	374.810	23.760	403.727	"	4.06	1.50	1.44	0.098	0.019
3-3	98	7	413.330	316.310	97.020	391.735	"	4.28	1.03	1.63	0.087	0.014
4-3	103	7	467.480	293.240	174.240	424.236	"	4.06	0.97	1.55	0.086	0.017
5-3	104	7	443.720	319.970	123.750	441.534	"	4.08	1.00	1.57	0.098	0.017
6-3	107	7	501.040	366.400	134.640	460.491	"	3.95	0.73	1.55	0.112	0.026
7-3	91	6	408.570	313.140	95.430	391.633	"	4.25	0.77	1.36	0.104	0.029
Media	100.85	6.85	437.340	334.324	103.015	417.297	"	4.05	1.02	1.48	0.098	0.021
8-3	103	7	434.220	368.280	65.940	420.602	"	3.44	0.55	0.92	0.094	0.077
9-3	95	7	412.730	336.600	76.130	374.220	"	3.80	0.83	1.16	0.097	0.060
10-3	56	4	202.060	190.580	11.480	204.214	"	3.64	0.99	1.25	0.100	0.053
11-3	102	7	416.790	361.350	55.440	383.821	"	3.99	0.93	1.33	0.097	0.031
12-3	95	7	377.090	347.990	29.100	357.481	"	3.98	1.03	1.19	0.102	0.032
13-3	102	7	403.630	360.860	42.770	383.821	"	4.12	1.26	1.39	0.097	0.025
14-3	102	7	414.910	363.340	51.570	401.969	"	4.22	1.15	1.43	0.106	0.017
Media	93.57	6.57	380.204	332.714	47.490	360.875	"	3.88	0.96	1.23	0.099	0.042
15-3	92	7	385.410	359.270	26.140	378.929	"	4.28	1.26	1.52	0.098	0.017
16-3	94	7	395.700	353.430	42.270	387.167	"	4.26	1.13	1.42	0.109	0.017
17-3	97	7	410.950	360.360	50.590	405.163	"	4.09	0.86	1.42	0.106	0.025
18-3	97	7	393.230	368.280	24.950	411.309	"	4.20	1.10	1.55	0.104	0.020
19-3	94	7	438.770	372.240	66.530	398.588	"	4.20	0.94	1.52	0.101	0.024
20-3	102	7	420.160	375.210	44.950	432.510	1.462	4.22	0.92	1.66	0.106	0.022
21-3	46	3	193.740	146.520	47.220	195.053	1.416	4.08	0.88	1.44	0.092	0.027
Media	88.85	6.42	376.851	333.615	43.235	372.674	1.439	4.19	1.01	1.55	0.102	0.021
22-3	4	—	EMBORRICADO			14.537	—	—	—	—	—	—
23-3	27	5	60.690	60.690	—	93.654	1.365	3.40	0.38	0.89	0.095	0.087
24-3	41	8	160.780	156.920	3.860	149.762	1.350	2.95	0.39	0.91	0.092	0.139
25-3	50	6	204.730	204.730	—	185.543	1.394	3.99	1.36	1.68	0.099	0.026
26-3	62	6	269.180	269.180	—	233.840	Averiado	4.16	1.19	1.58	0.095	0.016
27-3	80	7	328.190	328.190	—	311.449	"	4.18	1.28	1.63	0.092	0.016
28-3	92	7	382.540	359.370	23.170	369.345	"	4.27	1.27	1.62	0.093	0.017
Media	50.85	6.50	234.351	229.846	4.505	194.018	1.369	3.82	0.97	1.38	0.094	0.050
29-3	91	7	431.050	272.650	158.400	365.330	Averiado	4.17	1.05	1.46	0.098	0.021
30-3	86	7	365.710	310.370	55.340	350.706	"	4.30	1.11	1.59	0.097	0.015
31-3	89	7	377.390	363.830	13.560	362.940	1.453	4.37	1.02	1.61	0.101	0.014
Media Mensual	81.55	6.66	364.025	309.223	56.604	340.904	—	4.02	1.00	1.41	0.098	0.032

FECHA	Cargas	Coladas	Producción Arábico Tm.	REPARTO		Arábico Técnico por día	Temperatura Arábico °C	ANÁLISIS %				
				Líquido Tm.	Caladora Tm.			C	Si	Ma	P	S
1-IV	48	4	238'690	205'420	33'270	187'121	—	4'35	1'18	1'48	0'101	0'012
2-IV	48	4	190'080	190'080	—	195'743	1427	4'23	1'00	1'28	0'106	0'013
3-IV	95	7	384'710	361'150	23'560	387'408	1464	4'29	1'17	1'39	0'114	0'016
4-IV	105	7	491'740	367'000	124'740	409'873	1441	4'02	0'80	1'37	0'108	0'025
5-IV	84	7	361'250	349'370	11'880	342'550	1451	4'27	1'09	1'64	0'106	0'018
6-IV	101	7	412'340	362'840	49'500	411'875	1461	4'02	1'16	1'31	0'100	0'025
7-IV	97	7	448'870	376'010	72'860	395'564	1440	4'03	1'04	1'14	0'111	0'031
MEDIA	82'57	6'14	361'097	315'981	52'635	332'876	1447	4'18	1'06	1'37	0'106	0'020
8-IV	103	7	460'350	310'860	149'490	420'031	1459	4'16	1'13	1'30	0'106	0'025
9-IV	99	7	424'920	286'510	138'410	403'720	1450	4'06	1'06	1'24	0'097	0'026
10-IV	97	7	416'490	331'150	85'340	395'564	1455	4'12	1'22	1'12	0'106	0'027
11-IV	103	7	433'920	358'580	75'340	420'031	1450	3'91	1'46	1'16	0'106	0'031
12-IV	104	7	439'660	306'400	133'260	430'699	1463	4'26	1'48	1'34	0'109	0'020
13-IV	102	7	450'140	381'350	68'790	422'416	1452	4'15	1'11	1'17	0'099	0'023
14-IV	106	7	464'410	313'140	151'270	439'982	1453	4'15	0'97	1'28	0'099	0'029
MEDIA	102'00	7'00	441'412	326'855	114'557	413'777	1454	4'11	1'20	1'23	0'103	0'025
15-IV	103	7	455'500	280'370	175'130	426'558	1445	4'10	0'93	1'17	0'103	0'017
16-IV	95	7	407'580	122'260	285'320	393'427	1450	4'11	1'07	1'13	0'100	0'028
17-IV	101	7	447'180	357'980	89'200	418'275	1458	4'05	1'14	1'23	0'096	0'026
18-IV	90	7	424'410	370'460	53'950	372'720	1455	4'18	1'32	1'31	0'098	0'025
19-IV	97	7	446'090	368'380	77'710	401'709	1451	4'22	1'20	1'34	0'106	0'023
20-IV	100	7	425'600	362'830	62'770	414'134	1444	4'16	1'36	1'40	0'097	0'024
21-IV	104	7	485'990	379'260	106'130	430'699	1457	4'25	1'03	1'31	0'092	0'018
MEDIA	98'57	7'00	441'764	320'305	121'458	408'217	1451	4'15	1'15	1'27	0'098	0'023
22-IV	104	7	449'360	373'430	75'930	430'699	1467	4'10	1'24	1'46	0'090	0'021
23-IV	101	7	451'240	372'930	78'310	418'275	1449	4'13	1'09	1'60	0'087	0'023
24-IV	96	7	435'900	361'350	74'550	397'568	1441	4'18	1'05	1'64	0'091	0'022
25-IV	101	7	450'250	376'100	74'150	418'275	1445	4'02	1'13	1'52	0'102	0'035
26-IV	107	7	451'840	379'470	72'370	443'123	1443	4'21	0'99	1'45	0'098	0'028
27-IV	99	7	423'130	367'890	55'240	409'992	1449	4'10	1'27	1'23	0'096	0'030
28-IV	101	7	434'410	303'430	130'980	418'275	1465	4'27	1'21	1'33	0'095	0'022
MEDIA	101'28	7'00	442'244	362'085	80'218	417'458	1451	4'14	1'14	1'46	0'094	0'025
29-IV	83	6	407'190	178'300	228'890	364'337	1454	4'04	1'11	1'33	0'094	0'025
30-IV	86	7	383'130	138'400	244'730	386'155	1427	4'17	0'86	1'36	0'095	0'032
31-IV												
MEDIA	87'00	6'50	395'160	158'350	236'810	360'246	1440	4'10	0'98	1'34	0'091	0'028
MEDIA	94'28	6'72	419'878	319'776	100'102	387'914	1448	4'17	1'12	1'33	0'100	0'024

# A R R A S T O

FECHA	V. de cargas	Coladas	Producción Arrabio Tm.	REPARTO		Arrabio Técnico por día	Temp. del Arrabio °C	ANALISIS %				
				Líquido Tm.	Coladora Tm.			C	Si	Mn	P	S
1-V	95	7	397.580	369.460	28.120	379.123	1.412	4.03	0.68	1.38	0.092	0.040
2-V	95	7	413.520	393.220	20.300	387.656	1.452	4.27	1.17	1.63	0.095	0.021
3-V	82	6	359.670	359.670	-	339.590	1.459	4.15	1.25	1.60	0.091	0.020
4-V	99	7	431.050	431.050	-	409.989	1.440	4.10	0.88	1.63	0.091	0.023
5-V	104	7	481.440	481.440	-	430.695	1.442	4.20	0.85	1.58	0.090	0.020
6-V	100	7	409.370	409.370	-	415.522	1.443	4.16	1.02	1.61	0.095	0.019
7-V	95	7	416.300	416.300	-	400.269	1.442	4.22	0.92	1.42	0.091	0.017
MEDIA	96	6.85	415.561	408.644	6.917	394.692	1.441	4.16	0.96	1.55	0.092	0.022
8-V	99	7	453.220	453.220	-	422.878	1.448	4.18	0.77	1.34	0.093	0.023
9-V	98	7	414.810	414.810	-	418.607	1.455	3.99	0.95	1.44	0.093	0.020
10-V	101	7	459.950	459.950	-	431.421	1.445	4.31	0.71	1.50	0.083	0.017
11-V	86	7	375.410	375.410	-	351.002	1.413	4.03	0.72	1.25	0.093	0.033
12-V	86	7	386.400	386.400	-	346.451	1.417	4.23	1.14	1.24	0.092	0.040
13-V	92	7	416.790	416.790	-	381.320	1.454	4.50	1.05	1.31	0.105	0.022
14-V	90	7	407.680	407.680	-	378.733	1.435	4.49	1.18	1.21	0.113	0.027
MEDIA	93	7	416.322	416.322		390.058	1.438	4.24	0.93	1.32	0.096	0.026
15-V	83	7	364.020	364.020	-	339.624	1.453	4.30	0.96	1.45	0.107	0.019
16-V	83	7	383.530	383.530	-	349.275	1.425	4.23	0.76	1.39	0.102	0.024
17-V	95	7	417.280	417.280	-	399.773	1.437	4.17	0.88	1.40	0.107	0.029
18-V	93	7	421.340	421.340	-	391.357	1.444	4.17	0.86	1.33	0.116	0.028
19-V	40	3	197.810	197.810	-	160.931	1.467	4.26	1.04	1.37	0.093	0.020
20-V	94	7	388.970	388.970	-	378.188	1.419	4.02	0.81	1.34	0.101	0.025
21-V	100	7	438.370	438.370	-	414.418	1.462	4.21	1.22	1.49	0.109	0.019
MEDIA	84	6.42	373.045	373.045		339.080	1.443	4.19	0.93	1.39	0.105	0.023
22-V	98	7	437.980	437.980	-	406.188	1.478	4.26	1.43	1.41	0.102	0.015
23-V	103	7	441.940	441.940	-	433.438	1.457	4.17	1.10	1.28	0.109	0.025
24-V	98	7	410.060	410.060	-	412.398	1.471	4.19	1.37	1.56	0.108	0.021
25-V	103	7	454.510	454.510	-	433.438	1.449	4.26	0.93	1.13	0.107	0.028
26-V	95	7	471.340	471.340	-	399.773	1.449	4.28	0.84	1.30	0.103	0.029
27-V	104	7	480.840	480.840	-	437.646	1.440	4.34	0.95	1.34	0.098	0.029
28-V	107	7	464.470	464.470	-	450.271	1.454	4.32	0.88	1.38	0.094	0.026
MEDIA	101	7	451.591	451.591		424.736	1.456	4.26	1.07	1.34	0.103	0.024
29-V	97	7	467.780	467.780	-	408.189	1.446	4.09	1.06	1.23	0.097	0.030
30-V	92	6	410.650	410.650	-	387.149	1.441	4.22	1.12	1.35	0.098	0.020
31-V	102	7	450.550	450.550	-	429.230		4.14	1.05	1.29	0.096	0.023
MEDIA												
Media Mens.	93	6.78	416.923	415.361	1.562	389.179	1.444	4.30	0.98	1.40	0.099	0.024

[illegible]

#### 5. 4. PRODUCCIONES Y CALIDAD DE LA ESCORIA

En las tablas 5. 13. a 5. 16. bis, se encuentran recogidos los volúmenes de escoria por tonelada de arrabio, su compsición química y el índice de basicidad. Estos valores son los medios de las siete coladas que se realizaron por día.

En cada colada se analizó la escoria de la piqueta de arrabio, mediante la técnica de absorción atómica, realizando-se la determinación de su composición en un tiempo máximo de una hora.

La basicidad, viscosidad y composición de la escoria son las deseadas y bastantes similares durante el periodo del ensayo. Se procuró, excepto anomalías o causas muy justificadas, no pasar de una basicidad total de 1, tendiendo generalmente a 0,96 siempre que no hay problemas de desulfuración. La desulfuración conseguida ha sido buena.

# ESCORIA

FECHA	VOLUMEN ESCORIA Kg/T.a.	COMPOSICION						
		Si O <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Ca O %	Mg O %	Mn O %	Fe O %	I <sub>B</sub>
1-II	377	38,76	14,63	44,57	4,99	1,21	0,52	0,93
2-II	377	36,48	16,05	45,82	5,70	0,79	0,33	0,98
3-II	377	37,47	16,51	46,05	5,28	1,33	1,09	0,94
4-II	377	38,33	16,09	42,17	4,97	1,07	0,56	0,86
5-II	377	37,09	15,70	44,81	4,94	1,29	0,70	0,94
6-II	377	36,61	15,62	44,95	4,93	1,42	0,44	0,95
7-II	377	35,98	15,76	44,75	4,89	1,23	0,41	0,95
MEDIA	377	37,24	15,76	44,73	5,10	1,19	0,57	0,94
8-II	377	38,44	16,95	44,82	5,36	0,75	0,35	0,92
9-II	377	36,10	15,63	46,31	4,82	0,99	0,50	0,97
10-II	377	36,57	14,91	43,76	5,21	1,39	0,64	0,95
11-II	394	37,00	15,74	43,93	5,37	0,96	0,52	0,93
12-II	390	38,56	14,55	45,70	5,64	0,85	0,62	0,97
13-II	391	35,84	14,38	43,26	5,49	1,55	0,81	0,97
14-II	391	37,01	14,65	41,22	5,37	0,91	0,41	0,90
MEDIA	385	36,94	15,25	44,14	5,32	1,05	0,55	0,94
15-II	391	36,97	15,26	39,22	5,36	1,24	0,46	0,85
16-II	391	35,21	14,61	43,26	5,20	1,10	0,42	0,97
17-II	391	35,12	14,72	41,09	4,62	1,10	0,46	0,92
18-II	391	35,66	13,99	41,53	5,05	1,07	0,51	0,95
19-II	391	35,14	14,03	44,18	4,70	1,30	0,66	0,98
20-II	391	34,93	14,69	43,26	5,10	1,21	0,72	0,97
21-II	392	34,57	15,65	43,25	5,51	1,10	0,67	0,97
MEDIA	391	35,37	14,70	42,25	5,07	1,16	0,55	0,94
22-II	384	33,87	13,87	42,96	5,04	1,01	0,33	1,01
23-II	384	35,83	15,57	41,39	5,63	1,20	0,70	0,91
24-II	384	36,41	14,95	40,51	5,37	1,11	0,41	0,89
25-II	384	37,05	14,74	41,01	5,30	1,45	0,71	0,88
26-II	384	35,50	14,73	42,08	5,32	0,87	0,54	0,94
27-II	384	34,82	14,62	41,84	5,50	1,01	0,47	0,95
28-II	384	35,68	15,36	41,87	5,13	1,11	0,49	0,91
MEDIA	384	35,59	14,83	41,66	5,40	1,10	0,52	0,92
MEDIA MENSUAL	384	36,32	15,13	43,19	5,22	1,12	0,55	0,94

# E S C O R I A

FECHA	VOLUMEN ESCORIA Kg/T.a.	COMPOSICION						
		Si O <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Ca O %	Mg O %	Mn O %	Fe O %	Ia
1-III	376	35.67	15.17	40.96	5.37	0.75	0.73	0.91
2-III	376	34.39	15.51	41.33	5.41	0.75	0.40	0.93
3-III	376	35.62	16.02	41.99	5.32	0.77	0.42	0.91
4-III	376	36.16	16.01	42.00	5.48	0.35	0.59	0.91
5-III	376	35.37	15.67	41.88	5.86	1.16	0.88	0.92
6-III	371	33.00	15.69	40.43	5.62	1.54	0.66	0.88
7-III	371	36.26	15.13	41.01	5.68	1.40	0.55	0.89
MEDIA	374	35.20	15.65	41.37	5.53	0.96	0.60	0.90
8-III	374	37.17	14.68	41.19	5.23	2.68	0.81	0.89
9-III	374	34.31	15.67	42.62	5.58	1.95	0.83	0.96
10-III	374	35.80	14.95	41.67	5.26	1.75	0.85	0.93
11-III	386	34.75	15.92	40.72	6.19	1.75	0.48	0.93
12-III	386	33.19	16.09	43.23	6.49	1.30	0.49	1.01
13-III	386	32.79	15.88	45.05	6.67	1.09	0.52	1.05
14-III	379	34.31	15.45	44.07	6.35	1.07	0.49	1.00
MEDIA	379	34.62	15.52	42.65	5.96	1.65	0.63	0.96
15-III	379	34.19	16.04	43.16	6.37	0.79	0.29	0.96
16-III	379	35.67	15.47	42.53	5.27	0.66	0.43	0.94
17-III	379	34.78	14.95	41.62	5.48	1.29	0.70	0.93
18-III	379	34.81	15.50	42.82	5.75	1.14	0.45	0.96
19-III	381	35.82	15.11	42.05	5.59	1.13	0.39	0.93
20-III	381	35.33	15.90	42.75	5.36	1.21	0.37	0.93
21-III	381	34.54	15.17	43.20	5.39	1.17	0.36	0.97
MEDIA	378	35.02	15.44	42.50	5.60	1.05	0.42	0.94
22-III	—	34.98	14.61	42.70	5.28	3.15	1.60	0.96
23-III	394	34.95	14.56	41.49	5.30	2.86	2.16	0.93
24-III	394	34.95	14.43	41.49	5.30	2.86	1.81	0.94
25-III	389	34.72	15.93	42.58	5.83	1.07	0.44	0.95
26-III	382	33.69	15.57	43.18	5.50	1.02	0.38	0.98
27-III	376	33.69	15.74	42.88	5.46	0.75	0.36	0.95
28-III	375	35.40	15.33	42.58	5.63	0.98	0.37	0.94
MEDIA	373	35.49	14.73	42.07	5.62	1.02	0.41	0.94
29-III	376	34.03	15.50	42.56	5.51	1.07	0.30	0.97
30-III	377	33.47	15.27	44.21	5.71	0.37	0.86	1.00
	380	34.53	15.16	42.57	5.51	1.51	0.86	0.95
Media Mensual	377	34.84	15.44	42.27	5.65	1.25	0.62	0.93



FECHA	VOLUMEN ESCORIA Kg. T.a.	COMPOSICION						
		Si O <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	Ca O %	Mg O %	Mn O %	Fe O %	IB
1-IV	371	35'60	15'02	43'75	5'53	0'85	0'43	0'96
2-IV	371	35'04	13'85	44'19	5'68	1'07	0'42	1'02
3-IV	370	35'22	15'17	42'90	5'87	0'77	0'34	0'97
4-IV	371	35'39	15'17	42'83	5'71	1'04	0'31	0'96
5-IV	371	34'89	15'21	42'81	6'13	0'99	0'43	0'97
6-IV	370	35'07	15'03	42'56	5'22	1'11	0'39	0'95
7-IV	370	35'37	15'48	43'23	5'17	1'03	0'32	0'94
MEDIA	370	35'21	14'99	43'18	5'61	0'98	0'37	0'96
8-IV	370	34'34	16'10	43'40	5'21	0'75	0'33	0'96
9-IV	370	32'94	15'35	44'27	5'27	1'08	0'46	1'02
10-IV	370	34'76	15'14	42'29	4'84	1'02	0'33	0'94
11-IV	370	34'20	16'28	42'65	4'85	0'84	0'46	0'94
12-IV	372	35'06	15'64	42'67	5'08	0'88	0'39	0'94
13-IV	374	35'13	15'24	42'46	4'94	0'83	0'42	0'94
14-IV	374	33'85	15'00	43'76	4'83	1'03	0'41	0'99
MEDIA	371	34'32	15'53	43'07	4'98	1'03	0'40	0'96
15-IV	374	34'69	15'17	43'40	5'19	1'06	0'40	0'97
16-IV	374	34'30	15'48	43'40	5'04	0'95	0'49	0'97
17-IV	374	33'93	15'89	42'58	4'84	1'17	0'49	0'94
18-IV	374	34'28	15'99	42'83	4'80	1'12	0'65	0'95
19-IV	374	34'69	15'49	42'95	5'03	0'94	0'35	0'95
20-IV	381	34'66	15'61	43'14	4'78	0'86	0'29	0'95
21-IV	381	34'97	15'08	43'15	4'89	1'16	0'39	0'95
MEDIA	376	34'50	15'53	43'06	4'93	0'91	0'43	0'95
22-IV	381	34'25	14'63	42'84	4'94	1'30	0'38	0'97
23-IV	381	34'56	14'89	42'02	4'99	1'60	0'41	0'95
24-IV	381	34'73	15'18	43'63	4'91	1'49	0'42	0'96
25-IV	381	33'81	15'75	43'35	4'73	1'39	0'35	0'96
26-IV	381	34'48	15'54	43'12	4'78	1'52	0'47	0'96
27-IV	381	33'80	16'06	42'98	4'65	1'54	0'42	0'95
28-IV	381	34'03	15'89	42'87	5'08	1'06	0'38	0'96
MEDIA	381	34'23	15'42	42'97	4'86	1'41	0'40	0'95
29-IV	381	33'82	15'91	43'20	5'13	1'16	0'35	0'97
30-IV	381	34'29	15'69	42'45	5'29	1'46	0'38	0'95
31-IV	—							
MEDIA	381							
Media Mensual	375	34'53	15'39	43'05	5'09	1'20	0'40	0'96

FECHA	VOLUMEN ESCORIA Kg. T.a	COMPOSICION						
		SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	FeO	Is
1-V	380	33,72	15,31	41,83	5,45	1,88	0,68	0,96
2-V	376	33,78	15,80	43,22	5,41	1,21	0,30	0,97
3-V	381	33,80	16,00	43,26	5,51	1,09	0,37	0,97
4-V	381	34,51	14,99	43,16	5,26	1,32	0,39	0,97
5-V	381	34,44	14,78	42,64	5,45	1,12	0,32	0,97
6-V	381	34,58	14,80	43,10	5,24	1,18	0,36	0,97
7-V	379	34,59	14,44	43,09	5,07	1,08	0,53	0,98
MEDIA	379	34,20	15,16	42,90	5,34	1,26	0,42	0,97
8-V	377	34,57	14,41	42,51	5,01	1,02	0,32	0,97
9-V	377	34,23	15,36	42,92	4,92	1,23	0,26	0,96
10-V	377	33,98	14,89	43,00	5,28	1,40	0,38	0,98
11-V	373	34,56	14,54	43,03	4,82	1,91	0,74	0,97
12-V	370	34,54	14,45	43,07	4,86	1,35	0,56	0,98
13-V	370	35,06	14,49	42,78	5,06	1,24	0,27	0,96
14-V	367	34,50	15,67	41,26	4,92	1,02	0,57	0,92
MEDIA	373	34,49	14,83	42,65	4,98	1,31	0,44	0,95
15-V	370	32,39	15,06	40,48	5,00	0,95	0,29	0,95
16-V	367	32,47	15,29	40,13	4,90	1,15	0,40	0,94
17-V	367	31,94	14,93	40,39	5,67	1,24	0,42	0,96
18-V	367	33,14	15,04	40,02	5,25	1,42	0,62	0,93
19-V	375	32,74	14,60	40,89	5,42	0,93	0,36	0,97
20-V	375	33,20	15,01	40,03	5,19	1,39	0,57	0,94
21-V	370	33,13	14,83	40,22	5,44	0,89	0,35	0,95
MEDIA	370	32,71	14,96	40,30	5,26	1,13	0,43	0,95
22-V	370	32,83	15,38	40,83	5,54	0,89	0,30	0,96
23-V	367	33,98	15,31	41,74	5,11	1,05	0,29	0,97
24-V	367	33,19	15,38	41,18	5,38	1,12	0,40	0,95
25-V	367	33,13	15,37	40,28	5,00	1,26	0,46	0,93
26-V	367	33,81	14,45	41,03	5,06	1,44	0,32	0,95
27-V	367	33,10	14,97	40,64	5,07	1,35	0,75	0,95
28-V	367	33,25	14,74	40,83	5,19	1,34	0,37	0,96
MEDIA	367	33,32	15,08	40,93	5,19	1,20	0,41	0,95
29-V	367	33,06	15,38	41,38	5,10	1,57	0,65	0,95
30-V	367	32,58	14,89	41,22	5,08	1,12	0,54	0,97
31-V	367	32,86	15,27	41,48	5,14	1,31	0,46	0,96
MEDIA								
Media Mens.	372	33,51	15,04	41,62	5,17	1,24	0,45	0,96

FECHA	Volumen Escoria Kg/T.a.	C O M P O S I C I O N (%)						
		Si O <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ca O	Mg O	Mn O	Fe O	I <sub>B</sub>
1 - VI	370	33,47	14,79	41,50	4,84	1,00	0,34	0,97
2 - VI	380	34,06	14,62	41,54	3,95	1,42	0,48	0,93
3 - VI	400	33,61	14,35	42,57	2,57	1,18	0,77	0,93
4 - VI	450	35,19	14,09	43,27	1,93	1,16	0,68	0,91
5 - VI	481	35,21	14,49	44,18	1,15	1,39	0,91	0,91
6 - VI	481	34,91	14,59	43,81	0,80	1,48	1,18	0,90
7 - VI	481	35,23	14,17	43,94	0,80	1,59	1,17	0,90
MEDIA	434	34,52	14,44	42,97	2,29	1,31	0,79	0,92
8 - VI	481	34,52	14,18	45,43	1,11	0,99	0,69	0,95
9 - VI	481	34,67	14,12	45,22	1,03	1,38	0,90	0,94
10 - VI	481	34,70	14,20	45,45	1,24	1,27	0,71	0,95
11 - VI	481	34,70	14,17	45,91	1,19	0,90	0,59	0,97
12 - VI	481	34,13	13,97	45,26	1,05	1,40	1,10	0,95
13 - VI	481	33,10	16,84	44,39	1,15	0,79	0,74	0,91
14 - VI	481	33,37	15,77	43,44	1,16	1,05	0,63	0,91
MEDIA	481	34,06	14,75	45,01	1,13	1,11	0,76	0,94
15 - VI	481	32,32	15,65	44,30	1,01	1,54	0,85	0,94
16 - VI	481	32,17	16,97	44,57	1,01	1,45	0,61	0,92

## 5. 5. PRODUCCIONES Y CALIDAD DEL GAS DE TRAGANTE

El análisis del gas de tragante se realiza de forma continua, tomando la muestra a la salida del colector de polvos después de la depuración primaria. El equipo analizador del gas de tragante da una información continua y precisa de la marcha del horno.

Se observó una sensible mejora en la relación  $\frac{CO_2}{CO}$ , con respecto a la obtenida en los meses de referencia de marcha normal del horno.

Existe una notable disminución en el polvo recogido en el botellón, como consecuencia de la pequeña abrasión que sufre la carga dentro del horno por el cribado del sinterizado en el parque de minerales y por la marcha regular del horno.

La potencia calorífica del gas de tragante disminuye notablemente durante todo el período del ensayo.

En las tablas 5. 17. a 5. 20 bis, se encuentran los valores medios diarios de los parámetros controlados.

# GAS - POLVO

FECHA	PRODUCCION de GAS Nm <sup>3</sup> /día.	ANALISIS						POLVO BOTELLON Kg/día
		CO %	CO <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> CO	Kcal Nm <sup>3</sup>	
1·I	1.108.800	25,1	15,17	0,89	58,42	0,59	743,5	700
2·I	1.120.000	24,66	15,1	0,76	58,41	0,5	716,1	2.392
3·I	1.052.800	25,15	15,31	0,85	57,83	0,64	727,3	1.800
4·I	1.019.200	24,79	15,3	1,04	57,84	0,65	726,5	1.200
5·I	1.108.800	25,03	15,25	0,89	57,33	0,64	731,4	1.019
6·I	1.120.000	25,12	15,43	0,91	57,19	0,64	742,1	800
7·I	1.041.600	25,71	15,71	1,21	57,37	0,61	750,6	1.000
Media	1.082.000	25,19	16,04	0,91	57,83	0,63	734,7	1.273
8·II	1.052.800	26,11	15,01	1,45	56,81	0,53	774,4	300
9·II	1.052.800	25,11	15,92	1,39	57,56	0,63	743,9	700
10·II	1.064.000	25,66	15,46	1,23	57,57	0,60	756,9	700
11·II	1.041.600	24,86	15,61	0,77	58,67	0,62	722,0	700
12·II	806.800	24,70	15,71	0,43	59,0	0,64	709,3	300
13·II	1.097.600	25,17	15,47	1,19	58,24	0,61	739,0	600
14·II	1.064.000	25,29	15,65	1,33	57,34	0,59	747,3	400
Media	962.800	25,27	15,56	1,11	58,02	0,61	741,8	528
15·II	1.153.600	25,13	15,25	1,35	58,27	0,60	743,6	500
16·II	1.153.600	25,81	15,44	1,45	57,60	0,60	750,7	1.300
17·II	1.120.000	25,31	15,71	1,54	56,77	0,61	768,8	600
18·II	1.120.000	24,98	16,0	1,46	57,88	0,64	741,9	1.400
19·II	817.600	24,43	15,79	1,27	57,47	0,68	720,7	1.512
20·II	1.120.000	25,83	15,97	1,31	57,12	0,62	755,2	500
21·II	1.075.200	25,1	15,61	1,40	57,52	0,61	754,1	500
Media	1.080.000	25,27	15,82	1,40	57,51	0,62	748,7	902
22·II	1.041.600	25,29	15,75	1,29	57,67	0,62	746,7	700
23·II	1.064.000	25,51	15,40	1,00	58,02	0,60	747,9	500
24·II	873.600	25,1	15,83	1,14	57,87	0,62	739,2	500
25·II	1.086.400	24,57	15,67	1,39	57,30	0,63	728,7	400
26·II	1.108.800	25,64	16,31	1,51	56,54	0,63	761,8	600
27·II	1.097.600	25,77	15,93	1,70	56,59	0,61	770,1	700
28·II	1.131.200	25,23	16,22	1,74	56,80	0,63	769,5	700
Media	1.057.200	25,37	16,01	1,41	57,17	0,62	752	557
Media Mensual	1.045.600	25,27	15,85	1,20	57,63	0,62	744	815

La potencia calorífica se calcula mediante la siguiente expresión.

$$P.C. = (28,3 \% CO + 24 \% H_2) \cdot \frac{Kcal}{Nm^3}$$

	Nm <sup>3</sup> /día	CO %	CO <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> %	N <sub>2</sub> %	CO %	Nm <sup>3</sup>	Kg/día
1. III	1.131.200	26,74	14,77	1,66	56,83	0,55	796	600
2. III	1.131.000	26,62	14,47	1,63	57,28	0,54	792	700
3. III	1.097.600	25,30	15,33	1,30	58,07	0,60	747	1000
4. III	1.153.600	26,31	15,31	1,20	57,18	0,58	773	900
5. III	1.154.800	25,49	15,79	1,16	57,56	0,62	749	800
6. III	1.198.400	24,78	16,67	1,41	57,14	0,67	735	1000
7. III	954.800	25,05	16,41	1,45	57,08	0,65	743	1000
Media	1.118.771	25,75	15,53	1,40	57,30	0,60	762	857
8. III	1.153.600	27,27	15,07	0,90	56,74	0,55	793	400
9. III	1.064.000	27,39	14,41	0,57	57,63	0,52	788	300
10. III	589.400	28,14	13,25	0,89	57,72	0,47	817	400
11. III	1.164.800	27,39	13,88	0,95	57,78	0,50	798	400
12. III	1.064.000	27,07	14,65	0,69	57,63	0,54	782	200
13. III	1.134.400	26,09	14,99	0,80	58,12	0,57	757	300
14. III	1.142.400	26,75	14,60	0,82	57,82	0,54	776	400
Media	1.045.142	27,15	14,40	0,80	57,63	0,52	787	342
15. III	1.030.400	25,45	15,21	0,74	58,59	0,59	738	600
16. III	1.052.800	24,66	15,63	0,98	58,72	0,63	721	500
17. III	1.086.400	25,63	15,31	1,38	57,68	0,59	757	800
18. III	1.086.400	25,39	15,70	1,24	57,67	0,61	748	200
19. III	1.052.800	24,59	16,19	1,16	58,09	0,65	723	1000
20. III	1.144.400	24,51	16,65	0,99	57,83	0,68	717	400
21. III	440.000	27,69	15,05	1,53	55,72	0,54	820	400
Media	984.742	25,41	15,67	1,14	57,75	0,61	746	557
22. III	—	—	—	—	—	—	—	—
23. IV	152.800	—	—	—	—	—	—	700
24. III	235.200	24,08	16,43	0,92	58,56	0,68	703	700
25. III	351.400	25,45	15,21	1,04	58,30	0,59	745	500
26. III	540.400	25,06	15,36	1,05	58,53	0,61	734	500
27. III	896.000	25,53	15,33	1,04	58,10	0,60	747	200
28. III	1.030.400	24,73	15,79	0,65	58,83	0,63	715	450
Media	458.028	24,97	15,62	0,94	58,46	0,62	728	508
29. III	1.019.200	24,69	16,15	0,51	58,63	0,65	711	450
30. III	963.200	24,40	16,09	0,67	58,84	0,66	706	800
31. III	996.800	24,44	16,28	0,88	58,38	0,66	712	300
	993.066	24,51	16,17	0,68	58,61	0,66	709	516
Media Mensual	919.949	25,55	15,47	0,99	57,95	0,60	746	556

La potencia calorífica se calcula mediante la siguiente expresión

$$P.C. = (28,3\% \text{ CO} + 24\% \text{ H}_2) \cdot \frac{K_{cal}}{K_{mas}}$$

	Nm <sup>3</sup> /dia	%	%	%	%	CO	N m <sup>3</sup>	Kg/dia
1. IV	989.784	25,21	15,23	0,84	58,7	0,60	734	500
2. IV	1.021.440	24,66	15,67	0,57	59,1	0,63	712	500
3. IV	1.202.688	25,15	15,79	1,11	57,95	0,62	738	400
4. IV	1.219.632	25,10	16,46	1,37	57,07	0,65	743	600
5. IV	1.119.624	24,69	16,58	0,95	57,78	0,67	722	300
6. IV	1.399.952	24,99	16,61	1,32	57,08	0,66	739	300
7. IV	1.169.544	24,69	16,74	1,50	57,07	0,67	735	400
Media	1.123.224	24,92	16,15	1,09	57,84	0,64	732	429
8. IV	1.178.736	25,2	16,44	1,59	56,74	0,65	751	400
9. IV	1.173.696	24,44	17,29	1,30	56,27	0,70	723	600
10. IV	1.168.368	24,21	17,30	1,17	57,32	0,71	713	500
11. IV	1.184.304	25,70	16,00	1,26	57,04	0,62	758	700
12. IV	1.178.160	25,07	15,50	1,39	58,04	0,61	743	300
13. IV	1.181.496	24,87	16,79	1,50	56,84	0,67	740	600
14. IV	1.166.280	24,72	17,08	1,49	56,70	0,69	735	1.000
Media	1.175.856	24,88	16,62	1,38	57,12	0,66	738	586
15. IV	1.121.976	24,50	17,25	1,42	56,83	0,70	727	700
16. IV	1.082.424	24,42	17,49	1,29	56,74	0,71	722	500
17. IV	1.129.560	24,85	17,14	1,25	56,74	0,68	733	400
18. IV	1.055.592	24,48	17,28	0,57	57,67	0,70	706	300
19. IV	1.164.216	24,51	17,12	1,17	57,20	0,69	722	500
20. IV	1.164.216	24,88	16,54	1,18	57,40	0,66	732	529
21. IV	1.185.672	24,51	16,77	1,37	57,35	0,68	727	600
Media	1.129.080	24,59	17,08	1,17	57,16	0,68	724	504
22. IV	1.171.128	24,79	16,97	1,12	57,12	0,68	728	400
23. IV	1.140.624	24,69	17,19	0,91	57,20	0,69	721	820
24. IV	1.129.560	24,07	17,57	1,03	57,30	0,72	706	500
25. IV	1.130.952	24,39	17,48	1,13	56,97	0,71	717	700
26. IV	1.143.432	25,02	17,07	1,22	56,69	0,68	737	800
27. IV	1.147.584	24,62	17,26	1,06	57,06	0,70	722	400
28. IV	1.149.648	25,11	16,29	1,40	57,20	0,64	744	100
Media	1.144.707	24,67	17,11	1,12	57,10	0,68	725	531
29. IV	1.135.464	24,31	16,94	1,28	57,47	0,69	719	400
30. IV	1.069.968	24,04	17,33	1,27	57,36	0,72	711	1.013
		24,17	17,13	1,28	57,42	0,71	715	
Media Mensual	1.140.528	24,64	16,81	1,20	57,35	0,67	729	525

La potencia calorífica se calcula mediante la siguiente expresión.

$$P.C. = (28,3\% \text{ CO} + 24\% \text{ H}_2) \cdot \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3}$$

	Nm <sup>3</sup> /dia	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CO	Nm <sup>3</sup>	kg/dia
1.V	1.096.388	25,02	16,76	1,08	57,14	0,670	734,0	500
2.V	1.140.535	24,77	16,54	1,19	57,49	0,667	728,5	600
3.V	1.156.832	24,34	16,65	1,06	57,87	0,684	714,3	500
4.V	1.180.573	24,80	16,70	1,32	57,18	0,673	733,5	200
5.V	1.168.547	24,83	16,75	1,26	57,16	0,674	732,9	700
6.V	1.143.965	24,71	16,69	1,11	57,49	0,675	725,9	1.500
7.V	1.155.952	24,76	16,42	1,38	57,44	0,663	733,8	1.600
Media	1.148.970	24,74	16,64	1,20	57,39	0,672	728,98	600
8.V	1.195.793	24,21	17,21	1,40	57,18	0,711	718,7	1.300
9.V	1.177.537	24,08	17,46	1,30	57,16	0,725	712,6	1.200
10.V	1.171.647	24,36	18,05	1,24	56,30	0,741	719,1	1.381
11.V	1.114.400	25,28	16,54	0,88	57,29	0,654	736,5	1.247
12.V	1.170.045	25,81	15,85	0,78	57,56	0,614	749,14	200
13.V	1.169.089	24,54	17,09	1,17	57,20	0,696	722,5	100
14.V	1.155.008	25,08	16,56	1,18	57,18	0,660	738,0	200
Media	1.164.788	24,76	17,10	1,13	57,12	0,686	728,07	804
15.V	1.145.921	24,03	17,29	1,26	57,42	0,719	710,3	300
16.V	1.166.051	25,43	16,96	0,70	56,91	0,667	736,2	100
17.V	1.184.793	24,52	17,58	0,69	57,21	0,717	710,5	800
18.V	1.156.424	24,34	17,73	0,80	57,11	0,728	708,0	400
19.V	1.100.461	24,25	17,93	1,04	56,77	0,739	711,2	300
20.V	1.189.431	25,11	16,48	0,76	57,65	0,656	728,8	300
21.V	1.171.524	24,88	16,61	0,72	57,79	0,667	721,4	200
Media	1.159.229	24,65	17,22	0,85	57,26	0,669	728,07	342
22.V	1.161.662	24,74	16,57	1,09	57,60	0,669	726,3	500
23.V	1.173.887	24,55	16,95	1,13	57,37	0,690	721,9	500
24.V	1.165.679	24,75	16,57	1,15	57,53	0,669	728,0	350
25.V	1.135.455	24,42	17,04	1,07	57,47	0,697	716,7	620
26.V	1.128.615	23,93	17,15	0,81	58,03	0,716	696,6	500
27.V	1.149.048	23,69	17,54	0,62	58,13	0,740	685,3	800
28.V	1.106.872	23,82	17,25	0,62	58,31	0,724	689,0	700
Media	1.145.888	24,27	17,01	0,92	57,77	0,704	709,11	567
29.V	1.084.500	23,98	16,97	0,92	58,13	0,707	700,7	360
30.V	1.095.448	24,53	16,87	0,98	57,62	0,687	717,7	340
31.V	1.092.037	24,42	16,89	0,89	57,80	0,691	712,4	500
Media Mensual	1.141.907	24,58	16,98	1,01	57,43	0,690	720,0	606

la potencia calórica se calcula mediante la siguiente expresión:

$$P.C = (28,3\% \text{ CO} + 24\% \text{ H}_2) \cdot \frac{\text{Kcal}}{\text{Nm}^3}$$



# G A S - P O L V O

FECHA	Producción de Gas N m <sup>3</sup> /día.	A N A L I S I S						POLVO BOTELLON Kg/día.
		CO (%)	CO <sub>2</sub> (%)	H <sub>2</sub> (%)	N <sub>2</sub> (%)	CO <sub>2</sub> /CO	Kcal. N.m <sup>3</sup>	
1-VI	1089641	24.48	16.51	1.04	57.97	0.67	717.74	1000
2-VI	1104752	24.95	16.13	1.14	57.78	0.65	733.45	1000
3-VI	1098163	24.73	16.71	1.39	57.19	0.67	733.22	580
4-VI	1107624	25.29	16.10	1.39	57.20	0.64	749.07	1224
5-VI	1129675	24.96	16.30	1.43	57.31	0.65	740.69	1000
6-VI	1090712	24.64	16.72	1.38	57.26	0.68	730.43	500
7-VI	1010568	25.39	16.69	1.35	56.57	0.66	750.94	2000
MEDIA	1090162	24.92	16.45	1.30	57.32	0.66	736.50	1043
8-VI	1008748	25.38	16.24	1.43	56.95	0.64	752.57	1800
9-VI	967282	25.17	16.98	1.31	56.51	0.67	743.75	3829
10-VI	894495	25.21	16.42	1.10	57.23	0.65	739.84	2000
11-VI	1062025	25.72	15.98	1.42	56.86	0.62	761.96	2500
12-VI	1197817	25.99	15.06	1.61	57.30	0.58	774.16	2200
13-VI	1198253	27.17	13.63	1.52	57.69	0.50	805.39	3500
14-VI	1252194	26.61	15.19	1.45	56.75	0.57	787.86	3450
MEDIA	1082973	25.89	15.64	1.40	57.04	0.60	770.79	2754
15-VI	1223773	26.85	14.74	1.41	57.0	0.55	793.70	3500
16-VI	1245843	28.18	13.46	1.63	56.72	0.48	836.61	3200

## 5. 6. CARACTERISTICAS DEL COQUE

En el período de referencia que corresponde a los meses de Junio, Julio y Agosto de 1970, no se acondiciona el coque, siendo su granulometría media la siguiente:

<u>Fracción</u> <u>(mm.)</u>	<u>%</u>
> 80	23,37
60-80	42,80
50-60	15,57
30-50	17,30
20-30	0,42
10-20	0,10
< 10	0,42

A partir del segundo período considerado, (9-II-71), se somete al coque a un cortado estabilizador mediante la cortadora instalada en la planta de clasificados por primera vez en España.

Para determinar las características químicas y físicas del coque, se realizó una representativa toma de muestras, en el momento del cargue del carro báscula en el turno de la mañana.

En las tablas 5. 21. a 5. 24. bis, se encuentran los resultados obtenidos en el control del coque.

FECHA	ANALISIS QUIMICO						ENSAYOS FISICOS						GRANULOMETRIA									
	H <sub>2</sub> O %	Eniz %	M.V. %	C.ijo %	S %	H <sub>2</sub> %	Micum 40	Abrasic -N	Solidez	Insid 20	Insid 10	Tumber Test		> 80	60/ 80	50/ 60	30/ 70	20/ 30	10/ 20	<10		
												Estab.	Donz.									
1-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	52	10	---	---	---	---	---	---	---		
2-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	42	10	---	---	---	---	---	---	---		
3-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	72.8	22.8	50	11	28.5	38.5	15.2	10.7	0.3	0.1	0.6		
4-II	11.45	11.45	1.85	75.25	---	---	67.4	8.0	55.40	74.2	21.4	51	12	23.3	44.6	15.2	16.2	0.4	0.1	0.2		
5-II	12.10	11.85	1.85	74.20	0.84	1.04	66.8	7.6	55.40	75.4	19.8	52	11	21.1	41.2	16.0	20.5	0.5	0.1	0.6		
6-II	11.10	11.70	2.50	74.70	---	---	67.2	7.6	55.20	72.4	22.8	51	12	23.5	46.9	15.9	15.2	0.5	0.1	0.3		
7-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	53	14	---	---	---	---	---	---	---		
Media	11.55	11.66	2.06	74.71	0.84	1.04	67.13	7.73	55.53	73.70	21.70	50.14	12.14	23.4	42.8	15.6	17.3	0.42	0.1	0.42		
8-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	44	10	---	---	---	---	---	---	---		
9-II	8.59	11.75	1.20	77.20	0.85	---	70.0	7.8	58.30	73.6	21.4	49	12	12.8	40.4	19.0	22.7	0.7	0.2	0.2		
10-II	8.09	11.50	1.75	78.66	---	---	71.4	7.4	60.30	74.0	21.6	51	13	16.2	43.3	22.0	23.8	0.4	0.2	0.1		
11-II	9.16	11.30	1.70	77.34	0.77	---	69.2	6.6	59.30	76.8	18.8	52	14	14.6	42.5	20.9	21.3	0.4	0.1	0.1		
12-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	52	14	---	---	---	---	---	---	---		
13-II	6.91	10.85	1.65	80.59	---	---	72.8	6.2	63.50	77.6	18.8	53	12	9.9	32.3	25.1	25.6	0.4	0.1	0.6		
14-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	54	13	---	---	---	---	---	---	---		
Media	8.18	11.37	1.72	78.73	0.81	0.36	70.85	7.0	60.35	75.50	20.15	51	13.4	11.9	41.1	21.7	24.3	0.47	0.15	0.27		
15-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	53	12	---	---	---	---	---	---	---		
16-II	10.20	11.15	2.40	76.25	0.82	---	69.0	8.2	56.70	74.2	21.4	52	11	17.4	41.3	20.4	19.5	0.5	0.2	0.9		
17-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	53	12	---	---	---	---	---	---	---		
18-II	13.25	11.20	1.60	73.95	---	---	70.6	6.2	61.30	80.0	15.4	53	11	6.5	42.4	23.8	26.8	0.5	0.1	0.2		
19-II	11.10	12.20	2.40	74.30	---	---	70.4	7.2	59.60	77.2	19.6	52	12	17.8	42.9	17.1	19.5	0.4	0.1	0.1		
20-II	6.80	11.50	2.25	75.45	---	---	67.8	6.4	58.20	76.6	20.0	52	13	9.2	44.3	21.7	23.8	0.5	0.1	0.2		
21-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	54	12	---	---	---	---	---	---	---		
Media	11.33	11.51	2.16	74.9	0.82	---	69.45	7.0	58.95	77.0	19.1	52.7	11.8	13.2	42.7	20.8	22.3	0.47	0.12	0.37		
22-II	11.05	12.85	1.70	74.40	---	0.58	70.6	9.0	57.10	75.4	21.2	56	14	15.6	43.9	19.6	19.8	0.6	0.1	0.2		
23-II	7.23	12.0	1.90	78.87	0.82	---	69.6	7.8	57.90	75.2	21.2	52	11	10.3	43.0	21.9	24.0	0.5	0.1	0.2		
24-II	7.04	11.20	2.25	72.91	---	1.00	64.6	9.0	51.10	72.4	23.8	54	11	8.0	40.9	20.9	22.9	0.2	0.2	0.3		
25-II	8.13	11.70	2.10	72.17	---	---	68.0	7.8	56.30	75.2	21.0	52	12	7.7	37.7	20.9	34.1	1.2	0.2	0.2		
26-II	7.95	14.50	2.70	74.85	---	---	67.0	7.8	55.30	73.6	21.8	52	12	13.7	44.4	20.8	21.3	0.5	0.1	0.2		
27-II	8.60	11.50	2.00	77.90	0.66	---	63.4	7.4	52.30	76.0	19.8	54	12	8.6	40.6	21.2	28.4	0.7	0.2	0.3		
28-II	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	44	16	---	---	---	---	---	---	---		
Media	8.33	12.3	2.2	77.16	0.95	0.79	67.2	8.13	55.0	74.6	21.46	52	12.5	10.3	41.7	21.2	25.7	0.7	0.15	0.23		
Media Mensual	9.84	11.71	2.03	76.4	0.83	0.73	68.65	7.46	57.45	75.20	20.6	51.46	12.46	14.7	42	19.8	22.4	0.51	0.13	0.32		

FECHA	ANALISIS QUIMICO						ENSAYOS FISICOS							GRANULOMETRIA									
														m m.									
	H2O %	Comar %	M.V. %	C.Fijo %	S %	H2 %	Nirom 40	Abrase N	Salidez	Insid 20	Insid 10	Insid 5	Test Estab	Test Dureza	>80 %	75-80 %	60-75 %	45-60 %	30-45 %	15-30 %	<10 %		
1-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2-III	14.39	11.70	1.70	72.5	0.88	0.41	69.0	7.2	58.2	77.8	16.8	46	15		10.7	38.0	19.6	30.2	1.2	0.1	0.2		
3-III	8.96	10.80	1.60	78.7	-	-	70.0	8.4	57.4	75.9	18.4	49	16		11.7	45.4	19.1	23.0	0.5	0.1	0.2		
4-III	13.41	11.00	1.70	67.9	-	0.52	71.2	6.6	61.3	85.2	9.4	49	15		8.9	42.3	20.2	27.5	0.8	0.1	0.2		
5-III	12.44	11.35	1.45	74.8			71.0	7.2	60.2	78.2	16.6	52	12		14.5	42.7	19.3	22.3	0.9	0.1	0.2		
6-III	20.57	11.00	1.75	66.7	-	-	69.8	7.0	59.3	81.6	12.6				10.4	40.5	18.0	29.3	0.9	0.1	0.2		
7-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
MEDIA	15.1	11.1	1.6	72.1	0.88	0.45	70.2	7.3	59.3	79.7	14.7	49	14.5		11.2	41.8	19.2	26.6	0.86	0.1	0.2		
8-III	11.35	11.50	1.50	75.7	-	-	70.8	6.8	60.6	77.4	18.0	51	13		14.2	44.6	20.1	20.5	0.3	0.1	0.2		
9-III	12.50	10.30	1.35	75.8		0.45	66.8	6.2	57.5	79.00	16.0	52	13		21.4	43.7	17.7	16.4	0.5	0.1	0.2		
10-III	7.06	10.90	1.45	80.7	0.76	-	70.0	6.8	59.8	76.2	20.2	-	-		13.3	39.4	23.6	22.9	0.5	0.1	0.2		
11-III	7.33	10.90	2.00	79.8			61.0	7.8	49.3	74.4	22.2	53	14		11.0	44.0	20.3	23.8	0.6	0.1	0.2		
12-III	8.79	13.20	1.50	76.5	-	0.42	71.4	6.4	61.7	77.2	19.6	54	12		12.6	46.9	20.4	19.3	0.5	0.1	0.2		
13-III	9.71	10.80	2.05	77.5			69.8	7.4	58.7	75.8	19.6	-	-		20.7	37.3	20.6	19.3	1.8	0.1	0.2		
14-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
MEDIA	9.4	11.2	1.6	77.6	0.76	0.43	68.3	6.9	57.9	76.6	19.2	52.5	13		15.4	42.6	20.4	20.1	0.7	0.1	0.2		
15-III	11.12	10.85	1.80	76.3		0.44	69.2	6.6	59.3	78.6	16.6	55	11		15.1	36.9	18.9	27.5	1.1	0.2	0.3		
16-III	7.50	10.75	1.45	80.3	0.92		70.2	8.4	57.6	72.8	23.0	52	12		15.2	42.8	17.6	23.0	0.8	0.2	0.4		
17-III	6.07	10.90	1.30	81.8			72.4	8.2	60.1	74.0	22.4	54	14		11.8	38.5	21.4	27.0	0.9	0.1	0.3		
18-III	6.30	11.40	1.50	80.8		0.70	71.0	8.0	59.1	71.8	24.4	-			8.6	42.4	22.4	25.5	0.6	0.2	0.3		
19-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
20-III	8.00	12.10	1.05	78.7	0.93		72.8	7.6	61.4	75.4	20.8	-	-		10.4	43.6	19.1	25.9	0.6	0.2	0.2		
21-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
MEDIA	7.8	11.2	1.4	79.6	0.92	0.57	71.1	7.7	59.5	74.5	21.4	53.6	12.3		12.2	40.8	19.8	25.8	0.8	0.18	0.36		
22-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
23-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
24-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
25-III	6.87	11.00	1.10	81.1	-	0.48	70.0	8.0	58.1	75.2	20.6	50.1	13		14.6	41.2	22.5	20.7	0.5	0.2	0.3		
26-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
27-III	8.86	11.40	1.75	77.9	-	-	70.8	8.1	58.6	75.4	18.6	52.1	10		18.1	44.8	18.1	18.1	0.5	0.1	0.3		
28-III	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
MEDIA	7.8	11.20	1.4	79.4	-	0.48	70.4	8.1	58.3	75.3	19.6	51.1	11.5		16.3	43.1	20.6	19.4	0.5	0.1	0.3		
29-III	4.25	11.10	1.25	83.4	-	-	70.1	7.0	59.5	75.2	21.0	51	13		14.0	39.9	19.4	25.8	0.6	0.1	0.2		
30-III	10.20	11.80	1.50	76.5	-	-	68.8	7.0	58.3	78.0	17.8	55	13		15.0	37.0	22.2	24.5	0.9	0.1	0.3		
31-III	6.23	10.70	1.20	81.8	0.90	-	71.8	7.2	61.1	75.8	21.0	51	12		16.6	43.5	18.4	20.7	0.5	0.1	0.2		
MEDIA	9.4	11.1	1.4	77.8	0.86	0.48	70.4	7.4	58.9	74.8	18.7	51.7	12.8		13.7	42.1	20.1	22.9	0.7	0.1	0.25		

FECHA	ANALISIS QUIMICO						ENSAYOS FISICOS								GRANULOMETRIA							
															m.m. %							
	H <sub>2</sub> O %	Cenizas %	M.V. %	C.fijo %	S %	H <sub>2</sub> %	Microm. 40	Abrasio -N	Solidez	Irsid 20	Irsid 10	Tumbler Test Estab. Dureza			>80	60/ 80	50/ 60	30/ 50	20/ 30	10/ 20	<10	
1-IV	8.15	10.6	1.1	80.15	-	0.24	69.6	6.8	59.40	77.0	18.8	55	12		9.8	38.2	21.4	29.4	0.9	0.1	0.2	
2-IV	6.68	10.7	1.2	81.42	-	-	72.4	7.2	61.60	78.2	19.0	54	13		21.4	47.2	15.3	15.6	0.2	0.1	0.2	
3-IV	14.32	11.3	1.55	72.83	-	-	72.0	6.6	62.10	80.2	15.6	-	-		10.8	34.6	23.5	29.6	1.2	0.1	0.1	
4-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
5-IV	7.3	12.8	1.7	78.2	-	0.58	69.4	7.6	58.0	75.8	20.0	53	12		15.0	38.6	20.3	24.7	0.9	0.2	0.3	
6-IV	7.6	12.4	2.05	77.95	-	-	69.2	8.6	56.30	72.8	23.4	52	12		13.9	42	20.5	22.8	0.4	0.2	0.3	
7-IV	6.75	12.4	1.9	78.95	-	0.57	67.6	8.4	55.0	72.6	23.2	53	13		16.8	43	19.9	19.5	0.5	0.1	0.2	
MEDIA	8.46	11.70	1.58	78.26		0.45	70.00	7.53	58.73	76.10	20.0	53.0	12		14.61	40.6	21.7	23.6	0.63	0.1	0.2	
8-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
9-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
10-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
11-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
12-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
13-IV	11.08	11.80	1.45	75.67	0.86	0.44	72.0	7.6	60.60	77.8	18.2	50	14		10.7	42.3	20	25.8	0.6	0.2	0.4	
14-IV	4.30	12.0	1.85	81.85	0.96	-	70.0	7.6	58.60	75.6	20.6	54	12		14	43.2	21.6	20.1	0.5	0.1	0.4	
MEDIA	7.69	11.90	1.65	78.76	0.91	0.44	71.0	7.6	59.60	76.7	19.4	52	13		12.35	42.7	20.5	23.0	0.55	0.15	0.4	
15-IV	5.62	12.0	1.30	81.08	-	0.34	70.8	7.0	60.30	76.6	19.6	53	13		16.6	44.1	16	22.2	0.8	0.1	0.2	
16-IV	6.72	11.4	1.30	80.58	-	-	70.8	7.0	60.30	77.8	18.6	54	13		11.9	40.8	19.6	26.8	0.6	0.1	0.2	
17-IV	5.65	10.90	1.50	80.95	-	-	69.2	6.8	59.00	76.0	20.2	-	-		17.5	41.9	18.3	21.8	0.4	0.1	0.2	
18-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
19-IV	7.2	11.6	1.55	79.65	-	0.50	72.4	6.7	62.35	76.8	19.4	53	12		12.2	37.5	19.8	29.6	0.6	0.1	0.2	
20-IV	8.08	12.2	1.90	77.82	-	-	70.4	6.2	61.10	77.4	19.2	55	13		12.7	43.6	20.8	22.1	0.5	0.1	0.2	
21-IV	5.80	11.8	1.80	80.60	0.92	-	72.8	6.0	63.80	79.0	18.4	56	11		7.6	44.3	20.6	26.2	1.0	0.1	0.2	
MEDIA	6.67	11.65	1.55	80.13	0.92	0.41	71.06	6.61	61.17	77.26	19.23	54	12		13.08	42.0	19.2	24.8	0.65	0.1	0.2	
22-IV	6.73	11.30	2.10	79.87	-	0.44	73.8	5.8	65.10	78.2	18.2	54	13		12.6	46.4	20.1	20.1	0.5	0.1	0.2	
23-IV	9.60	11.20	1.60	77.60	-	-	75.6	5.6	67.20	78.4	17.8	53	12		15.2	44.9	20.2	18.5	0.8	0.2	0.2	
24-IV	8.05	10.90	1.70	79.35	-	-	74.6	6.2	65.30	79.8	16.4	54	11		6.9	39.7	23.2	29.2	0.7	0.1	0.2	
25-IV	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-	-
26-IV	6.75	11.10	1.60	80.55	-	-	72.0	7.8	60.30	78.2	18.0	54	12		9	42.8	23.1	23.9	0.9	0.1	0.2	
27-IV	4.83	11.40	2.55	81.22	-	-	71.4	6.4	61.80	76.0	20.6	53	10		9.8	40.7	21.3	26.8	1.1	0.1	0.2	
28-IV	4.40	13.70	2.00	79.90	0.72	-	72.0	6.6	62.10	77.2	19.2	54	13		13	41.8	21.1	23.2	0.6	0.1	0.2	
MEDIA	6.72	11.60	1.92	79.76	0.72	0.44	73.23	6.40	63.63	77.96	18.36	53	12		11.08	42.7	21.5	23.6	0.76	0.1	0.2	
29-IV	7.53	11.60	2.60	78.27	-	-	70.8	7.0	60.30	76.2	20.0	53	11		7.4	43.2	22.1	26.0	1.0	0.1	0.2	
30-IV	4.21	11.40	1.45	82.94	-	-	71.4	7.0	60.90	76.4	20.0	-	-		8	42.3	20.5	28.1	0.7	0.2	0.2	
MEDIA	7.19	11.65	1.71	79.45	0.84	0.44	71.37	6.93	60.98	77.00	19.29	53	12		12.4	41.9	20.8	24.2	0.70	0.1	0.2	

NOTA: Dias 1 a 19: Coque Cortado a 30-75 m.m.  
Dias 20 a 30: Coque Cortado a 20-65 m.m.

FECHA	ANALISIS QUIMICO						ENSAYOS FISICOS							GRANULOMETRIA m m. %								
	H2O %	Ceniza %	M.V. %	C.fijo %	S %	H2 %	Micum 40	Abraso N	Solidez	Irsid 20	Irsid 10	Tumbler Test Estab. Dureza		>80	60/ 30	50/ 40	30/ 150	20/ 75	10/ 20	<10		
1-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
2-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	11	-	-	-	-	-	-	-		
3-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	54	12	-	-	-	-	-	-	-		
4-V	9.0	10.90	1.70	78.40	0.80	0.33	72.0	6.2	62.70	77.2	19.6	55	11	16.5	50.1	17.5	15.3	0.3	0.1	0.2		
5-V	4.93	10.60	1.20	83.27	-	-	73.4	6.4	64.10	77.0	19.8	54	11	10.8	49.1	20.9	18.6	0.3	0.1	0.2		
6-V	7.91	10.10	1.80	80.19	-	0.34	70.2	6.4	60.60	77.4	18.8	54	12	12.4	44.0	20.1	26.6	0.6	0.1	0.2		
7-V	8.24	10.50	1.90	79.36	-	-	71.6	7.0	61.10	77.8	18.8	55	12	10.9	48.3	20.6	19.1	0.8	0.1	0.2		
MEDIA	7.52	10.52	1.65	80.30	0.80	0.33	71.80	6.5	62.12	77.35	19.25	54.16	11.50	12.6	46.9	20.5	19.9	0.5	0.1	0.2		
8-V	11.79	10.60	1.40	76.21	-	-	71.2	6.4	61.60	77.6	19.0	54	12	12.2	41.9	19.8	24.9	0.9	0.1	0.2		
9-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	56	12	-	-	-	-	-	-	-		
10-V	7.80	10.70	1.60	79.90	-	0.54	76.8	6.2	67.50	78.4	18.6	53	12	9.7	42.6	19.6	26.5	1.2	0.1	0.3		
11-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	12	-	-	-	-	-	-	-		
12-V	9.48	10.80	2.00	77.72	0.76	-	73.2	6.4	63.60	77.8	18.6	54	11	16.0	34.5	19.2	28.9	1.1	0.1	0.2		
13-V	9.70	11.10	1.65	77.55	-	0.39	-	-	-	78.4	17.8	52	13	20.5	39.7	18.0	20.8	0.7	0.1	0.2		
14-V	9.70	10.30	1.30	78.70	-	-	-	-	-	-	-	53	12	15.2	46.0	16.3	21.1	1.1	0.1	0.2		
MEDIA	9.69	10.70	1.59	78.05	0.76	0.46	73.73	6.33	64.23	77.90	18.5	54	12	14.7	40.9	18.6	24.4	1.0	0.1	0.2		
15-V	9.18	11.60	1.50	77.72	-	-	74.0	5.0	66.50	81.0	15.4	52	13	9.2	35.7	20.7	33.3	0.8	0.1	0.2		
16-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	12	-	-	-	-	-	-	-		
17-V	7.97	10.40	1.40	80.23	-	0.23	74.0	6.0	65.0	79.4	18.0	54	11	16.8	44.6	17.5	20.2	0.6	0.1	0.2		
18-V	10.66	10.70	1.50	77.14	0.77	-	72.0	6.0	63.0	79.2	18.2	53	12	11.2	43.6	19.8	24.4	0.7	0.1	0.2		
19-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	11	-	-	-	-	-	-	-		
20-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	11	-	-	-	-	-	-	-		
21-V	7.98	10.30	1.00	80.72	-	-	75.0	5.0	67.50	79.6	18.0	55	11	10.0	41.7	21.3	25.6	1.1	0.1	0.2		
MEDIA	8.94	10.80	1.35	78.95	0.77	0.23	73.75	5.5	65.50	79.8	17.4	53.57	11.60	11.8	41.4	19.8	25.9	0.80	0.1	0.2		
22-V	6.63	10.20	1.30	81.87	-	-	74.6	5.6	66.20	77.4	20.2	-	-	10.1	39.2	21.0	28.3	1.1	0.1	0.2		
23-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	55	11	-	-	-	-	-	-	-		
24-V	7.60	10.00	1.35	81.05	-	-	74.2	5.8	65.50	79.0	17.8	56	12	9.8	36.6	21.7	30.6	1.0	0.1	0.2		
25-V	9.70	10.10	1.50	78.70	0.76	-	76.0	6.4	66.40	78.8	17.8	55	12	11.2	42.7	20.5	24.1	1.2	0.1	0.2		
26-V	4.71	10.40	1.80	83.09	-	-	73.2	5.8	64.50	78.0	19.0	55	12	8.6	43.0	21.4	26.2	0.5	0.1	0.2		
27-V	9.10	10.60	1.10	79.20	-	-	76.2	5.6	67.80	78.8	18.6	54	12	13.7	44.6	20.7	20.1	0.6	0.1	0.2		
28-V	12.40	10.80	1.40	75.40	-	-	72.4	6.0	63.40	76.4	20.4	53	11	9.3	44.4	21.3	24.0	0.7	0.1	0.2		
MEDIA	8.37	10.35	1.40	79.68	0.76	-	74.43	5.9	65.63	78.1	18.96	54.70	11.66	10.4	41.7	21.1	25.5	0.85	0.1	0.2		
29-V	7.20	10.5	1.0	81.30	-	-	72.2	6.8	62.00	76.8	19.3	-	-	10.1	43.0	21.0	24.0	0.5	0.1	0.2		
30-V	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	53	11	-	-	-	-	-	-	-		
31-V	7.50	10.4	2.1	80.00	-	-	74.2	6.0	65.20	77.4	17.9	53	11	9.2	42	22	25	0.7	0.1	0.2		
MEDIA	8.29	10.55	1.50	79.56	0.77	0.34	73.38	6.12	64.21	78.05	18.54	54	11.55	11.8	42.7	20.3	24	0.75	0.1	0.2		

Nota : Dias 1 a 31 : Coque cortado a 20-65 mm.

[illegible]

## 5. 7. INCIDENCIAS EN LA MARCHA

En las tablas 5. 25. a 5. 26 bis, se recogen las incidencias de marcha de cada uno de los cuatro meses del ensayo, indicando las paradas por reparaciones, cambio de toberas, acortamientos de marcha o cualquier tipo de perturbación producida en la marcha del horno alto.

A partir de la introducción del sinterizado, mejoró sensiblemente la marcha del horno. Durante el mes de Febrero, a pesar de la gran regularidad en producciones y calidades, la marcha del horno fué dura con frecuentes colgaduras e irregularidades en el descenso de la carga, debido fundamentalmente a fluctuaciones y deficiencias en el soplado, motivadas por variaciones en el vapor suministrado por calderas y falta de vacío en el condensador de la turbosoplante. Entre las paradas de este mes destaca la del día 12, con una duración de trece horas y cincuenta minutos, en la que se realizó la limpieza de la turbosoplante. Al no disponer de soplante de reserva, por avería de esta, cualquier incidencia en la soplante en funcionamiento motiva una parada del horno.

Al realizar la limpieza exterior de la coraza, las costras formadas por la refrigeración externa con agua de mar, con agua a presión ( $150 \text{ Kg./cm}^2$ ), se observó en toberas la caída de revestiduras que se desprenden al aumentar la eficiencia e intensidad de la refrigeración, dando lugar a enfriamientos en el crisol, como en los días 19 y 20 de Febrero.



En el mes de Marzo se cambió el ciclo de carga con el fin de alternar la marcha periférica y central cada ocho horas. Se consiguió un considerable aumento de la permeabilidad del lecho con gran regularidad en el descenso de la carga, desapareciendo las colgaduras que se habían presentado el mes anterior. Desde el momento en que se realizó el cambio del ciclo de carga, es de notar la tendencia a calentar del arrabio, lo que obligó a ir subiendo paulatinamente los kilogramos de mineral por carga, hasta alcanzar los 7.300 Kgs.

El día 21 se presentó una grave irregularidad en la marcha, dando lugar a un enfriamiento del crisol y sucesivas caídas que dieron lugar a que la escoria penetrase a través de las toberas, portavientos y codillos. La recuperación del horno duró seis días, siendo la causa de dicho accidente la utilización durante el día 21 de un coque de pésima calidad.

Durante el mes de Abril es de destacar las paradas de 9 horas y 30 minutos y 10 horas de los días 1 y 2, para la limpieza del condensador de la turbosoplante y para la reparación del cañón tapa-piqueras.

En el mes de Mayo se realiza una parada programada de 15 horas 45 minutos para reparaciones de mantenimiento.

# INCIDENCIAS EN LA MARCHA DEL HORNO ALTO

FECHA		<u>PARADAS</u>		<u>ACORTAMIENTOS</u>		
		<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	
1-2	Sin novedad	--	--	--	--	
2-2	" "	--	--	--	--	
3-2	Marcha lenta	--	50	13	15	Cambiar tobera nº 6. Por no llevar líquido
4-2	Parada	--	40	--	--	Cambiar tobera nº 5
5-2	Sin novedad	--	--	--	--	
6-2	" "	--	--	--	--	
7-2	" "	--	--	--	--	
8-2	Marcha lenta	--	--	--	--	Falta soplado
9-2	" "	--	--	--	--	" "
10-2	" "	--	--	--	--	" "
11-2	" "	--	--	--	--	" "
12-2	Parada	13	50	--	--	Parada programada
13-2	"	--	45	--	--	Cambio tobera nº 5
14-2	Marcha lenta	--	--	--	--	Marcha dura
15-2	Sin novedad	--	--	--	--	
16-2	" "	--	--	--	--	
17-2	" "	--	--	--	--	
18-2	" "	--	--	--	--	
19-2	Parada	4	20	--	--	Cambiar tobera nº 1. Por no llevar líquido
20-2	Sin novedad	--	--	--	--	
21-2	" "	--	--	--	--	
22-2	Parada	--	25	--	--	Cambiar tobera nº 5.
23-2	Sin novedad	--	--	--	--	
24-2	Parada	2	50	--	--	Reparación turbo soplante
25-2	Sin novedad	--	--	--	--	
26-2	" "	--	--	--	--	
27-2	" "	--	--	--	--	
28-2	" "	--	--	--	--	

<u>FECHA</u>		<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	
1-3	Sin novedad	--	--	--	--	
2-3	" "	--	--	--	--	
3-3	" "	--	--	--	--	
4-3	" "	--	--	--	--	
5-3	Parada	--	30	--	--	Cambiar tobera nº 4
6-3	Sin novedad	--	--	--	--	
7-3	Parada	2	40	--	--	
8-3	Sin novedad	--	--	--	--	
9-3	" "	--	--	--	--	
10-3	Parada	8	55	--	--	Reparación agua refrigeración
11-3	Sin novedad	--	--	--	--	
12-3	Parada	--	35	--	--	Cambiar tobera nº 3
13-3	Sin novedad	--	--	--	--	
14-3	Parada	--	25	--	--	Cambiar tobera nº 8
15-3	Marcha lenta	--	--	--	--	Avería soplante
16-3	" "	--	--	--	--	
17-3	" "	--	--	--	--	
18-3	" "	--	--	--	--	
19-3	Parada	1	--	--	--	Cambiar tobera nº 4
20-3	Sin novedad	--	--	--	--	
21-3	Parada					Enfriamiento crisol
22-3	"					" "
23-3	"					" "
24-3	"	42	50	--	--	" "
25-3	"					" "
26-3	"					" "
27-3	Sin novedad	--	--	--	--	
28-3	" "	--	--	--	--	
29-3	Marcha lenta	--	--	--	--	
30-3	" "	--	--	--	--	
31-3	Sin novedad	--	--	--	--	

		<u>PARADAS</u>		<u>ACORTAMIENTOS</u>		
<u>FECHA</u>		<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	
1-4	Parada	9	35	--	--	Limpieza condensador nº 3
2-4	"	10	--	--	--	Reparación cañón
3-4	Sin novedad	--	--	--	--	
4-4	Parada	1	10	--	--	Por falta de agua en pozo 60
5-4	"	1	30	--	--	Cambiar tobera nº 4
6-4	Sin novedad	--	--	--	--	
7-4	Parada	--	25	--	--	Cambiar tobera nº 5
8-4	Sin novedad	--	--	--	--	
9-4	Parada	1	30	--	--	Cambiar tobera Nº 8
10-4	"	--	45	--	--	Cambiar tobera nº 6
11-4	Sin novedad	--	--	--	--	
12-4	" "	--	--	--	--	
13-4	" "	--	--	--	--	
14-4	" "	--	--	--	--	
15-4	" "	--	--	--	--	
16-4	" "	--	--	--	--	
17-4	" "	--	--	--	--	
18-4	Parada	--	40	--	--	Cambiar tobera nº 2
19-4	"	1	30	--	--	Cambiar tobera nº 7
20-4	Sin novedad	--	--	--	--	
21-4	" "	--	--	--	--	
22-4	" "	--	--	--	--	
23-4	" "	--	--	--	--	
24-4	Parada	1	--	--	--	Cambiar toberas Nº 6 y 4
25-4	Sin novedad	--	--	--	--	
26-4	" "	--	--	--	--	
27-4	" "	--	--	--	--	
28-4	" "	--	--	--	--	
29-4	Parada	2	--	--	--	Por no llevar líquido
30-4	"	1	--	--	--	Descarrilamiento

<u>FECHA</u>		<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	
1-5	Sin novedad	--	--	--	--	
2-5	" "	--	--	--	--	
3-5	Parada	3	30	--	--	Cambio cables skip
4-5	Sin novedad	--	--	--	--	
5-5	" "	--	--	--	--	
6-5	" "	--	--	--	--	
7-5	" "	--	--	--	--	
8-5	" "	--	--	--	--	
9-5	" "	--	--	--	--	
10-5	" "	--	--	--	--	
11-5	Parada	2	5	--	--	Cambio toberin escoria y tobera nº 4
12-5	Sin novedad	--	--	--	--	
13-5	" "	--	--	--	--	
14-5	" "	--	--	--	--	
15-5	Parada	1	30	--	--	Reparación estufa nº 3
16-5	"	1	40	--	--	Avería eléctrica skip
17-5	Sin novedad	--	--	--	--	
18-5	" "	--	--	--	--	
19-5	Parada	14	45	--	--	Reparaciones programadas
20-5	Sin novedad	--	--	--	--	
21-5	" "	--	--	--	--	
22-5	" "	--	--	--	--	
23-5	" "	--	--	--	--	
24-5	" "	--	--	--	--	
25-5	" "	--	--	--	--	
26-5	Parada	--	50	--	--	Cambio tobera nº 7
27-5	Sin novedad	--	--	--	--	
28-5	" "	--	--	--	--	
29-5	Parada	--	45	--	--	Cambio tobera nº 5
30-5	Parada	2	10	--	--	Reparación Central de Alta
31-5	Sin novedad	--	--	--	--	

TABLA 5. 29.

INCIDENCIAS EN LA MARCHA DEL HORNO ALTO

FECHA	<u>PARADAS</u>		<u>ACORTAMIENTOS</u>		
	<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	<u>HORAS</u>	<u>MIN.</u>	
1-6	Sin novedad	--	--	--	
2-6	Parada	--	25	--	Cambiar tobera nº 6
3-6	Sin novedad	--	--	--	
4-6	" "	--	--	--	
5-6	" "	--	--	--	
6-6	" "	--	--	--	
7-6	Parada	--	25	--	Cambiar tobera nº 5
8-6	Sin novedad	--	--	--	
9-6	Marcha lenta	--	--	--	Por causa de la soplante
10-6	" "	--	--	--	" " " " "
11-6	Parada	--	35	--	Cambiar tobera nº 4
12-6	Sin novedad	--	--	--	
13-6	" "	--	--	--	
14-6	" "	--	--	--	
15-6	" "	--	--	--	
16-6	Parada	10	45	--	Rotura coraza crisol

## 5. 8. PARAMETROS CALCULADOS MEDIANTE BALANCES DE MATERIAS Y BALAN- CES TERMICOS

Mediante la información continua del gas de tragan-  
te, caudal de temperatura y humedad del viento y conocimiento de  
las características del lecho de fusión, se pueden establecer ba-  
lances de materia, (oxígeno, nitrógeno, carbono) y un balance tér-  
mico que permitan conocer en cada momento las variaciones del indi-  
ce de producción, el carbono quemado en toberas, el carbono total  
gasificado, el carbono consumido por las reacciones de reducción  
directa y un factor Wu, el cual caracteriza el estado térmico del  
crisol y por tanto el contenido en silicio del arrabio.

El índice de producción, Pi, representa el tonelaje  
de arrabio producido, referido a 1.000 m<sup>3</sup> de viento seco soplado  
en toberas. Este índice refleja las variaciones de la intensidad  
de fusión ligadas a los desarreglos de marcha y varía de la siguien-  
te forma:

- Aumenta al producirse un enfriamiento.
- Disminuye en el caso de un calentamiento.

El valor del índice de producción es el siguiente:

$$Pi = \frac{1}{2\alpha} (790.A + D - 1,24.h - 420)$$

Conociendo el índice de producción se establece fácilmente un balance de carbono. La cantidad de carbono quemado en toberas  $C_T$  (Kg./t.a.), es simplemente inversamente proporcional al índice de producción.

$$C_T = \frac{225}{P_i}$$

Mediante un balance de nitrógeno, se puede calcular el peso total de carbono gasificado,

$$M = \frac{423.8}{P_i}$$

por lo tanto la cantidad de carbono gasificado por las reacciones de reducción directa será,

$$C_R = M - C_T$$

En regimen constante de acondicionamiento del viento soplado en toberas, el índice de producción y el carbono de reducción directa, son suficientes para indicar una evolución en el estado térmico del horno alto. Con el fin de tener en cuenta las variaciones provocadas por la temperatura y la humedad del viento, se realiza un balance térmico en la zona inferior del horno, tomando  $950^{\circ}\text{C}$  como temperatura de referencia. Este balance se traduce en la forma de un parámetro  $W_u$  ( $\frac{\text{K.cal.}}{\text{t.a.}}$ ), que es igual a la energía cedida por el gas disminuida en las necesidades térmicas correspondientes al calentamiento del coque en esta zona y a la producción de la reacción de regeneración de óxido de carbono,



$\text{CO}_2 + \text{C} \rightleftharpoons 2 \text{CO}$ . El parámetro Wu corresponde a la variación de entalpía del lecho de fusión, aumentado en la energía consumida por las reducciones directas de los óxidos no ferrosos. Las variaciones de este parámetro, Wu, representan las variaciones de la calidad física (temperatura) del arrabio y de la escoria y de la calidad química del arrabio (% Si en particular), siendo su expresión,

$$Wu = \frac{1}{P_i} \left[ 901 + (360 + 0,6.h) \frac{\theta_v}{1.000} + 270.C - 1.357.B - 0,34.D - 0,16.h \right] + 100$$

El significado de las variables es el siguiente:

$$\Omega = N.m^3 O_2 / t.a.$$

$$K = \left( \frac{H_2}{C_+} \right) \text{ coque}$$

$$A = \left( \frac{CO + 2.CO_2 - H_2}{N_2} \right) \text{ gas tragante}$$

$$B = \left( \frac{CO + CO_2}{N_2} \right) \text{ gas tragante}$$

$$\theta_v = \text{temperatura viento (} ^\circ\text{C)}$$

$$C = \left( \frac{H_2}{N_2} \right) \text{ gas tragante}$$

$$h = \text{gr.} H_2O / N.m^3 \text{ viento}$$

$$D = 1,24.h + 100.K(47,4.B + 2,4)$$

Se realizaron los balances en el periodo comprendido entre dos coladas, desde el 21/1 al 31/5, obteniéndose 800 valores del parámetro Wu, que permitan realizar correlaciones con el % Si en el arrabio y sus variaciones con las condiciones de marcha.

En las tablas 5.29 a 5.32., solamente se dan los resultados obtenidos en un periodo de tres días consecutivos de los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo.

## BALANCES DE MATERIAS Y BALANCES TERMICOS

<u>DIA</u>	<u>PERIODO</u>	<u>H<sub>2</sub></u>	<u>CO<sub>2</sub></u>	<u>CO</u>	<u>N<sub>2</sub></u>	<u>T.viento (°C)</u>	<u>Humedad gr/m<sup>3</sup></u>	<u>C<sub>R</sub></u>	<u>P<sub>i</sub></u>	<u>W<sub>i</sub></u>	<u>%Si</u>
1-2	1	0,85	15,81	24,95	58,39	625	6,8	109,1	643,4	373	0,98
1-2	2	0,87	15,66	25,81	57,66	625	6,23	111,7	675,4	313	0,82
1-2	3	0,87	15,66	25,81	57,66	631	5,73	117,4	674,5	315	0,89
1-2	4	0,85	16,13	25,19	57,83	657	5,45	113,3	679,6	338	0,81
1-2	5	0,92	15,26	25,84	57,98	675	5,40	114,2	655,0	368	0,56
1-2	6	0,92	15,26	25,84	57,98	675	5,30	115,2	649,5	370	0,75
1-2	7	0,98	15,47	25,81	57,74	675	5,30	116,7	663,8	352	0,65
2-2	1	0,85	16,46	24,43	58,26	675	6,2	119,7	599,9	414	0,95
2-2	2	0,84	16,88	23,95	58,3	675	6,05	117,9	603,6	415	1,02
2-2	3	0,84	16,70	24,70	57,60	650	6,0	124,0	637,2	347	0,60
2-2	4	0,78	16,03	24,73	58,46	675	6,1	119,4	585,6	431	1,02
2-2	5	0,61	15,35	24,88	59,14	675	6,0	113,2	553,8	425	0,69
2-2	6	0,64	15,34	25,31	58,75	675	5,3	118,7	569,3	448	0,76
2-2	7	0,64	15,34	25,31	58,75	675	5,2	120,2	562,7	451	1,17
3-2	1	0,53	15,9	24,46	59,1	750	5,3	110,0	580,6	350	0,56
3-2	2	0,57	15,9	25,27	58,3	700	5,4	123,2	597,8	414	1,54
3-2	3	0,55	16,0	25,3	58,15	675	5,4	123,2	616,0	381	1,30
3-2	4	0,55	16,4	25,3	57,75	675	5,3	124,0	648,1	340	0,98
3-2	5	0,83	17,24	24,7	57,3	708	5,4	126,6	668,1	339	0,47
3-2	6	0,87	16,44	25,8	56,8	700	5,5	132,0	678,1	304	0,65
3-2	7	0,87	16,44	25,8	56,8	700	5,0	121,5	736,4	284	0,47

TABLA 5. 30.

BALANCES DE MATERIAS Y BALANCES TERMICOS

<u>DIA</u>	<u>PERIODO</u>	<u>H<sub>2</sub></u>	<u>CO<sub>2</sub></u>	<u>CO</u>	<u>N<sub>2</sub></u>	<u>T.viento (°C)</u>	<u>Humedad gr/m<sup>3</sup></u>	<u>C<sub>R</sub></u>	<u>P<sub>1</sub></u>	<u>Wu</u>	<u>%S1</u>
4-3	1	1,26	15,22	25,65	57,87	590	18,5	115,5	587,6	375	0,65
4-3	2	1,32	14,81	26,80	57,87	575	18,5	132,7	596,6	383	1,14
4-3	3	1,20	14,5	26,75	57,55	575	18,5	131,0	596,9	387	0,79
4-3	4	1,38	14,40	27,41	56,81	613	18,5	138,0	675	362	0,65
4-3	5	1,08	15,95	25,98	56,99	691	18,5	128,4	671,5	397	0,47
4-3	6	0,96	16,99	24,57	57,48	716	18,5	120,2	673,5	442	0,67
4-3	7	0,96	16,9	24,5	57,4	677	18,5	123,2	649,6	441	1,8
5-3	1	1,08	15,51	25,8	57,61	675	18,5	139,2	561,8	489	1,38
5-3	2	1,38	14,83	26,3	57,49	650	14,0	141,6	548,3	457	0,75
5-3	3	1,20	15,70	26,5	56,60	658	14,5	146,7	615,8	357	0,62
5-3	4	1,1	15,38	24,86	58,64	687	14,5	124,4	525,6	400	0,75
5-3	5	1,05	16,72	24,84	57,54	725	14,5	124,7	606,7	404	0,58
5-3	6	1,18	16,63	24,65	57,34	716	14,5	139,1	571,4	484	1,86
5-3	7	1,18	16,6	24,6	57,3	687	14,5	133,7	592,2	451	1,1
6-3	1	1,33	16,43	24,7	57,54	650	14,5	143	540,7	364	0,94
6-3	2	1,51	16,45	24,8	57,24	650	14,5	144	550,7	444	0,67
6-3	3	1,48	16,8	24,5	57,22	650	14,5	143	562,4	434	0,48
6-3	4	1,47	17,01	24,72	56,80	683	14,5	148,2	578,8	419	0,79
6-3	5	1,39	16,25	25,36	57,0	700	14,5	150,4	557,1	456	0,95
6-3	6	1,29	17,09	24,60	57,02	716	14,5	145,0	581,1	450	0,65
6-3	5	1,39	16,25	25,36	57,0	700	14,5	150,4	557,1	456	0,95

TABLA 5. 31.

BALANCES DE MATERIAS Y BALANCES TERMICOS

<u>DIA</u>	<u>PERIODO</u>	<u>H<sub>2</sub></u>	<u>CO<sub>2</sub></u>	<u>CO</u>	<u>N<sub>2</sub></u>	<u>T.viento (°C)</u>	<u>Humedad gr/m<sup>3</sup></u>	<u>C<sub>R</sub></u>	<u>P<sub>i</sub></u>	<u>Wu</u>	<u>%Si</u>
6-4	1	1,0	15,07	25,52	58,41	775	11,1	132	522	608	1,68
6-4	2	1,38	16,87	25,0	56,75	758	11,1	138	627	475	0,93
6-4	3	1,48	16,25	25,20	57,07	775	11,1	142	598	474	0,84
6-4	4	1,36	16,39	25,01	57,24	781	11,1	135	596	486	0,77
6-4	5	1,45	16,06	25,56	56,93	800	11,1	141	594	484	1,24
6-4	6	1,34	17,16	24,42	57,08	800	11,1	134	621	472	1,18
6-4	7	1,36	17,41	24,13	57,10	775	11,1	134	615	461	1,51
7-4	1	1,35	16,48	25,34	56,85	750	11,1	125	690	389	1,17
7-4	2	1,57	17,18	24,51	56,74	750	12,1	121	705	392	0,95
7-4	3	1,58	17,30	24,44	56,68	775	13,1	121	713	407	0,76
7-4	4	1,58	16,6	24,81	57,01	800	13,1	123	669	464	1,37
7-4	5	1,40	16,42	24,70	57,48	800	13,1	118	657	493	0,98
7-4	6	1,50	16,30	24,68	57,62	791	13,1	118	642	505	1,16
7-4	7	1,49	17,19	24,29	57,03	787	13,1	119	694	440	0,94
8-4	1	1,57	17,25	24,85	56,33	775	13,1	131	692	397	1,07
8-4	2	1,57	16,26	25,92	56,25	775	13,1	135	669	402	1,31
8-4	3	1,65	16,94	24,58	56,83	775	13,1	127	660	446	0,92
8-4	4	1,69	15,97	25,40	56,94	800	13,1	131	626	492	1,09
8-4	5	1,56	15,67	25,61	57,16	800	13,1	134	616	507	1,07
8-4	6	1,60	16,22	25,25	56,93	800	13,1	131	633	483	1,39
8-4	7	1,55	16,81	24,8	56,84	800	13,1	128	657	461	1,14

TABLA 5. 32.

BALANCES DE MATERIAS Y BALANCES TERMICOS

<u>DIA</u>	<u>PERIODO</u>	<u>H<sub>2</sub></u>	<u>CO<sub>2</sub></u>	<u>CO</u>	<u>N<sub>2</sub></u>	<u>T.viento (°C)</u>	<u>Humedad gr/m<sup>3</sup></u>	<u>C<sub>R</sub></u>	<u>P<sub>i</sub></u>	<u>Wu</u>	<u>%Si</u>
21-5	1	0,70	16,5	25,3	57,5	762	8,58	113	617	439	1,21
21-5	2	0,63	16,66	24,95	57,76	741	8,24	133	597	449	1,45
21-5	3	0,75	16,93	24,33	57,99	733	8,58	125	605	462	1,15
21-5	4	0,74	16,72	24,62	57,92	718	9,32	127	604	452	1,18
21-5	5	0,75	16,67	24,68	57,9	708	9,61	128	601	448	1,20
21-5	6	0,76	16,62	24,99	57,63	725	9,27	131	611	434	1,21
21-5	7	0,72	16,17	25,35	57,76	725	8,77	132	598	445	1,18
22-5	1	0,68	16,38	25,10	57,86	725	8,75	130	602	446	1,59
22-5	2	1,02	17,11	24,57	57,30	725	11,0	135	613	433	1,26
22-5	3	1,12	16,90	24,49	57,49	725	12,50	128	619	456	1,20
22-5	4	1,17	16,43	24,88	57,52	725	12,50	131	601	472	1,44
22-5	5	1,23	16,68	24,26	57,83	700	13,0	126	591	475	1,36
22-5	6	1,19	16,52	24,71	57,58	700	13,5	119	654	462	1,45
22-5	7	1,25	15,98	25,25	57,50	700	13,5	134	583	474	1,75
23-5	1	1,20	17,02	24,39	57,39	675	14,0	145	595	440	1,2
23-5	2	1,22	16,85	24,34	57,59	675	14,5	134	578	468	1,29
23-5	3	1,09	16,56	25,02	57,33	681	14,5	143	569	453	1,00
23-5	4	1,08	16,94	24,57	57,41	733	14,5	135	598	480	0,98
23-5	5	1,00	17,69	23,95	57,38	750	14,5	132	620	472	0,98
23-5	6	1,10	17,14	24,50	57,28	775	14,5	135	608	496	0,99
23-5	7	1,24	16,49	25,45	56,82	758	14,5	145	601	500	1,33

## 6. DISCUSION DE LOS RESULTADOS

### 6. 1. RESULTADOS OPERATIVOS DEL HORNO ALTO

En la tabla 6. 1. se recogen los valores medios de los resultados obtenidos durante los distintos períodos en que se subdividió el ensayo, calculados a partir de los valores medios diarios que aparecen en las tablas correspondientes a los diferentes apartados del punto 5.

En ella aparece en primer lugar el período de referencia, que es la media de los datos de operación e índices de marcha de los meses julio, agosto y setiembre de 1970. La segunda columna es el primer período del ensayo, abarca 16 días de marcha con carga preparada y control, pero con coque sin cortar. La tercera columna es el segundo período, de 70 días, se trabajó con carga preparada, coque cortado a 30-75 mm. y control. La cuarta es el tercer período, de 42 días, se diferencia del anterior únicamente en que el coque se cortó a 20-65 mm. La quinta es el cuarto período de sólo 9 días, es un período de estabilización con carga y coque normales y con control. Por último, la sexta columna es el quinto período de 31 días, es idéntico al anterior, pero una vez superado el estado transitorio del horno, por lo que puede servir de nueva referencia.

Control		NO	SI	SI	SI	SI	SI
Cargas/día		90	96	89	94	100	94
Mineral/arrabio	kg/t	1787	1639	1556	1570	1744	1887
Cok/arrabio	kg/t	695	621	597	586	720	703
Caliza/arrabio	kg/t	302	206	157	149	372	404
Carga metálica	%Fe	54.5	57.1	60.0	59.5	53.6	52.0
Lecho de fusión neto	kg/t	2079	1820	1722	1717	2106	2290
Volumen soplado	Nm <sup>3</sup> /h	31000	34373	33475	34400	36460	33065
Humedad total	g/m <sup>3</sup>	—	6.71	10.89	12.09	9.39	—
Temp. soplado	°C	688	681	715	740	717	733
Presión soplado	cm Hg	45.1	56.0	50.8	45.7	46.4	43.5
Temp. tragante	°C	118	106	99	92	120	140
Presión tragante	cm H <sub>2</sub> O	24	24	25.2	23.3	22.9	24.0
Permeabilidad	$\frac{\text{cmHg}}{\text{Nm}^3/\text{h}} \times 10^3$	145	163	152	133	127	131
Arrabio/día	t	318	389	386	421	369	332
C	%	3.96	3.96	3.96	4.05	4.02	4.24
Si	%	1.22	1.03	0.99	1.01	1.51	0.79
S	%	0.065	0.037	0.029	0.024	0.063	0.052
P	%	0.084	0.100	0.103	0.081	0.113	0.102
Mn	%	1.07	1.34	1.37	1.40	0.95	1.11
Temp. media arrabio	°C	—	1442	1438	1445	—	1415
Escoria	kg/t	404	385	378	374	431	446
SiO <sub>2</sub>	%	33.06	35.34	35.16	33.71	34.00	33.71
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	16.51	15.30	15.24	15.15	14.78	12.78
CaO	%	45.09	42.61	42.57	41.97	44.81	41.41
MgO	%	1.63	5.64	5.41	5.10	1.08	6.50
FeO	%	—	0.63	0.54	0.43	0.82	1.51
MnO	%	—	1.15	1.15	1.26	1.21	1.31
CaO+MgO	%	0.94	0.95	0.95	0.96	0.94	1.03
SiO <sub>2</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%						
Gas/día	Nm <sup>3</sup>	992167	1112700	1099404	1136675	1212774	1105665
CO <sub>2</sub>	%	12.60	15.57	15.88	16.99	15.65	16.6
CO	%	27.03	25.11	25.25	24.58	25.94	25.6
H <sub>2</sub>	%	0.86	0.75	1.14	1.05	1.40	1.1
N <sub>2</sub>	%	59.24	58.57	57.73	57.38	57.01	56.7
P. calorífica	Kcal/Nm <sup>3</sup>	785	729	742	721	768	751
CO <sub>2</sub> /CO	%	0.46	0.62	0.63	0.69	0.60	0.64
Viento/arrabio	Nm <sup>3</sup> /t	2339	2121	2081	1961	2371	2387
Cok diario/Vol. útil	t/m <sup>3</sup>	0.96	0.97	0.93	0.99	1.07	1.03
Cok diario/m <sup>2</sup> crisol	t/m <sup>2</sup>	18.0	18.28	17.46	18.69	20.13	19.6
t.a./día/m <sup>2</sup> crisol	t/m <sup>2</sup>	24.04	29.36	29.24	31.89	27.95	25.5
t.a./Vol. útil	t/m <sup>3</sup>	1.28	1.57	1.56	1.70	1.49	1.34
Productividad	$\frac{P.(B+500)}{985.D^2}$	49.7	56.2	52.2	56.7	58.4	53.4
Horas parada/día minutos		49	100	116	44	6	44

El efecto de la preparación de la carga se aprecia de la comparación del primer período con los del cuarto y quinto. El efecto del acondicionamiento del coque se deducirá del estudio de los períodos primero, segundo y tercero. La influencia del control en la marcha se deducirá al comparar la referencia con el quinto período.

En la tabla 6. 2. se recogen las variaciones de los principales conceptos estudiados sobre el período de referencia inicial, en el que el horno trabajó con carga sin preparar, coque sin cortar y ausencia de los controles adicionales incorporados a las instalaciones del horno alto.

En los apartados siguientes se realiza una revisión de los resultados de marcha.

#### 6. 1. 1. Alimentación del horno

De la tabla 6. 1. se deduce que en principio, las innovaciones producidas en el horno han influido en el aumento del ritmo de marcha, así el número de cargas por día ha sido siempre superior al del período de referencia, salvo en el segundo, a causa de una importante perturbación producida en la marcha del horno en el día 21/3.



TABLA 6. 2.

VARIACIONES SOBRE EL PERIODO DE REFERENCIA INICIAL, CON CARGA SIN  
PREPARAR, COQUE SIN CORTAR Y AUSENCIA DEL CONTROL.

(EXPRESADAS EN %)

Período	1º	2º	3º	4º	5º
Carga	Preparada	Preparada	Preparada	Sin preparar	Sin preparar
Coque	Normal	Cortado (30-75mm.)	Cortado (20-65mm.)	Normal	Normal
Control	Si	Si	Si	Si	Si
Mineral/arrabio	-5	-13	-12	-2	+5,5
Caliza/arrabio	-32	-48	-51	+ 23	+ 33
Coque <sup>*</sup> /arrabio	-12	-15	-15	+4,6	+ 2,4
Arrabio/día	+22	+22	+32	+16	+4,5
Permeabilidad	-13	-5	+ 8	+ 12	+10
$\frac{CO_2}{CO}$	+34	+36	+50	+30	+39
Ritmo de marcha <sup>***</sup>	+1	-3	+3	+11	+ 3
Paradas	+100	+136	-10	-86	-10

\* Coque referido a 85% de C

\*\*\* Toneladas de coque seco quemadas por día

Las variaciones de las relaciones mineral/arrabio, caliza/arrabio y por lo tanto del lecho de fusión neto, se recogen en los gráficos de la figura 6. 1., son debidas a las mayores leyes en hierro de la carga metálica en los periodos primero, segundo y tercero. Estas leyes no han permanecido constantes, lo que se debe achacar a variaciones habidas en las composiciones de los minerales y sinterizado.

Gracias al control se ha podido mantener una marcha acelerada. La manifestación mas evidente de este hecho lo constituyen los resultados de los periodos cuarto y quinto en los que no se hizo preparación de carga ni del coque y sin embargo el número de cargas por día ha sido superior al de la referencia. Por otra parte, la carga metálica del ensayo ha dejado notar su influencia en cuanto a su mayor ley, en la disminución de las necesidades de mineral, caliza y coque.

Con respecto al viento soplado, debe aclararse en primer termino, que los valores que aparecen en las tablas del apartado 5. 2., son los tomados a la salida de la soplante, mientras que los que aparecen en la tabla 6. 1., han sido calculados a partir del consumo específico de coque, la producción de arrabio y teniendo en cuenta las horas reales de marcha.

El volumen de soplado aumentó desde el primer periodo de marcha, llegando a su valor máximo en el periodo cuarto, debido a la mayor permeabilidad de la carga, justificando el eleva-

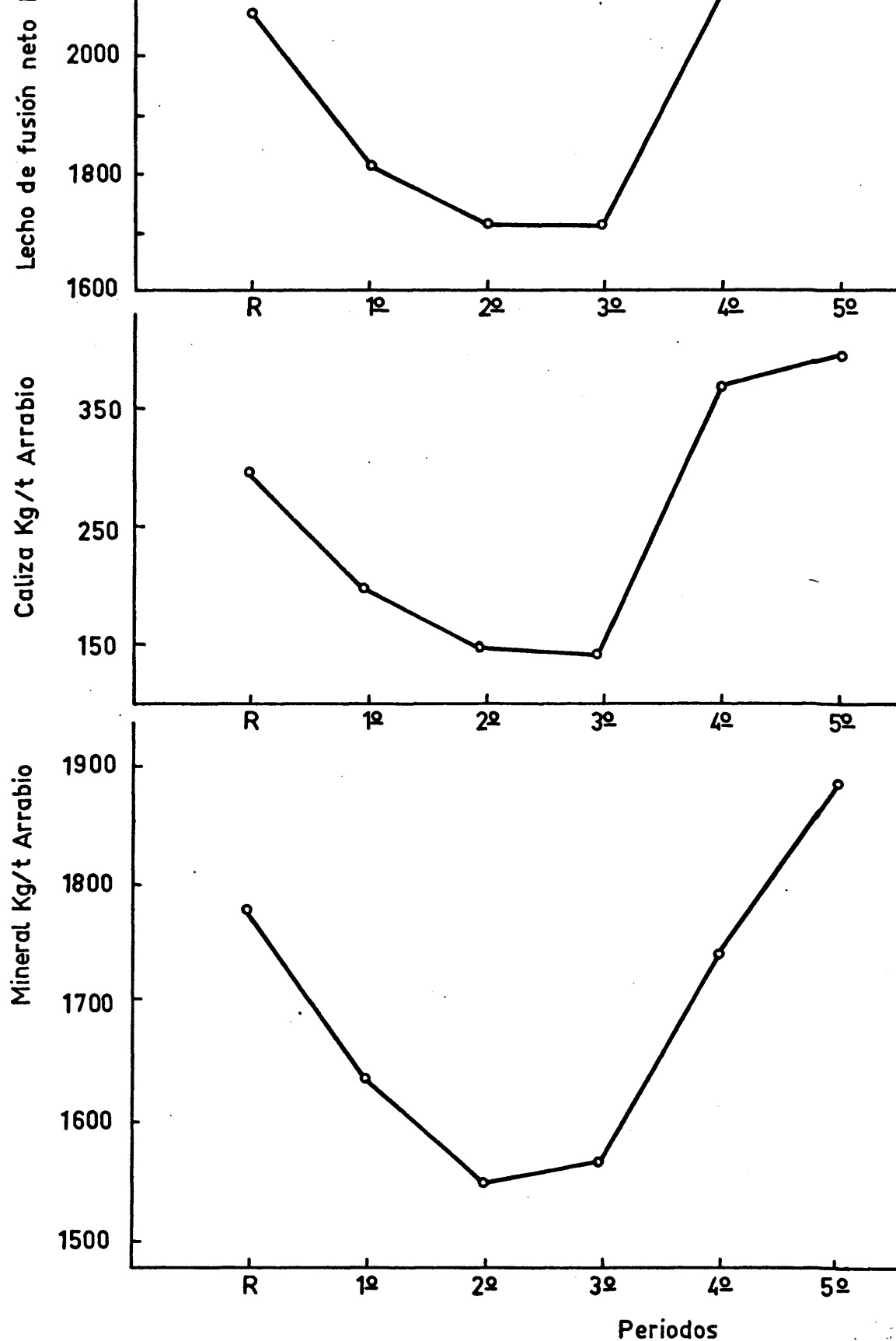


FIGURA. 6. I. Variaciones del lecho de fusión neto, fundente y carga mineral en los diferentes periodos del ensayo

do ritmo de la marcha del horno. o

La inyección de vapor de agua en los períodos segundo, tercero y cuarto, permitió la elevación de la temperatura de soplado, sin embargo, por diversas circunstancias no se pudo aprovechar al máximo este parámetro en la regulación del estado térmico del crisol. Se observó una notable mejora en el descenso de las cargas con la inyección de vapor de agua al viento soplado.

Al introducir la carga del ensayo aumentó considerablemente la presión de soplado, como puede apreciarse en la tabla 6. 1., a causa, sin duda, de la producción de finos por el sinterizado en las manipulaciones que sufre en fábrica después del cribado y antes de cargarlo en el skips, a la elevada abrasividad en crudo del mineral Goa y por último a la elevada degradabilidad de los minerales Cassinga y Gôa por la reducción y abrasión que sufren dentro del horno.

La limitada capacidad del cribado obligó a cribar solamente uno de los minerales. Al ser necesario disminuir el 9,93% de finos menores de 5 mm. que tiene la mezcla ponderada de la carga férrica, parece que lo mas efectivo será cribar el sinterizado por participar este en un 60% del total del lecho.

TABLA 6. 3.

	<u>&gt; 50</u>	<u>50-25</u>	<u>25-10</u>	<u>10-5</u>	<u>&lt; 5</u>
Sinterizado	5,69	16,71	33,98	33,77	9,83
Cassinga	6,48	15,66	62,41	6,13	9,74
Goa	15,54	30,53	36,72	6,15	11,06

Cribando y eliminando los finos menores de 5 mm. en el sinterizado, el valor ponderado de finos en la carga, pasaría a ser de 4,03% y en el caso de realizar dicha operación con el Cassinga o el Goa dicha cantidad pasaría a ser 7% u 8,82% en uno u otro caso.

Con el fin de disminuir la presión de soplado y según es norma en los hornos altos de gran tamaño, tanto nacionales como extranjeros, el primero de marzo se cambió el ciclo inicial de carga CCCC/MMMM, que se venía utilizando en toda la campaña de este horno a una secuencia formada por los ciclos CCMM/CCMM a MMCC/MMCC con cambio cada 8 horas, para alternar la marcha periférica del paso del gas con la central. Inmediatamente aumentó la permeabilidad del horno descendiendo la presión de soplado a valores normales similares a los de referencia como puede verse en la figura 6. 2.

Los valores del índice de permeabilidad, pueden servir para el estudio de la influencia de las distintas marchas. En

efecto, se observa un claro descenso de la permeabilidad al introducir en el horno la carga del ensayo, por lo que los valores de la permeabilidad son superiores en los períodos primero y segundo que en el de referencia. Al cambiar y alternar cada 8 horas los ciclos de carga, mejoró sensiblemente la permeabilidad, alcanzando en el periodo tercero, que fué en el que se aplicó las mejoras, valores superiores al de referencia. En los períodos cuarto y quinto, la nueva carga introducida, si bien era mas pobre en hierro, poseía una preparación mas favorable en el sentido de una menor proporción de finos, por lo que la permeabilidad alcanzó los mejores valores, permitiendo altos volúmenes de soplado y por lo tanto un ritmo rápido de marcha garantizado por el control mucho mas efectivo, puesto a punto en los períodos iniciales del ensayo.

En la figura 6. 2. se recogen los valores medios del volumen de soplado, índice de permeabilidad y la relación viento/arrabio, en los seis períodos considerados, reflejando los comentarios anteriores.

El coque utilizado en los períodos de referencia y los períodos del ensayo, estaba comprendido entre las siguientes granulometrías:

- Coque sin acondicionar, cribado a  $>30$  mm.
- Coque cortado y estabilizado, cribado a 30-75 mm.
- Coque cortado y estabilizado, cribado a 20-65 mm.

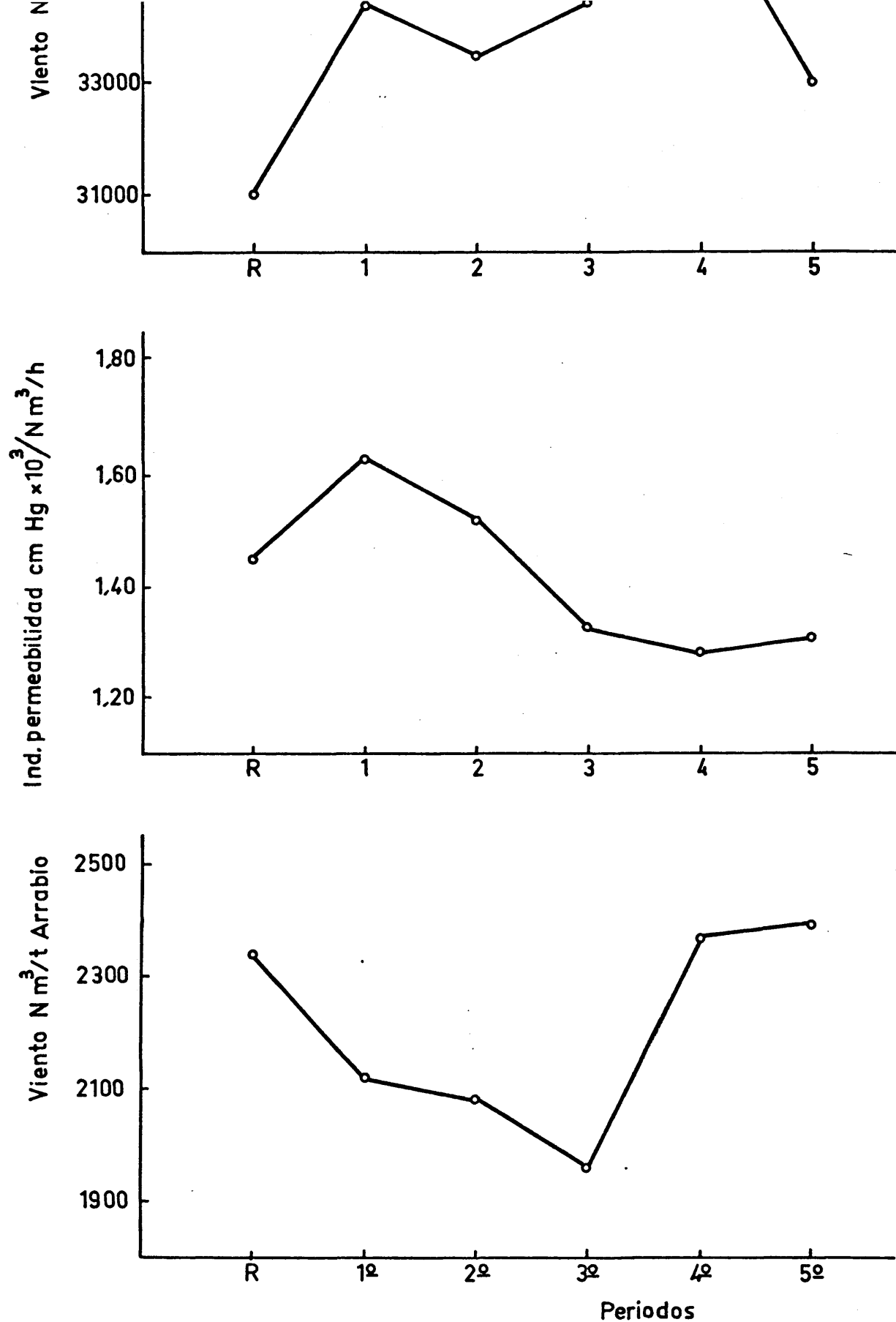


FIGURA 6. 2. Variaciones del caudal de viento, permeabilidad y viento/t.a. en los diferentes periodos del ensayo.

Es difícil valorar cuantitativamente las influencias del cortado del coque en la marcha del horno, sin embargo, cualitativamente se han podido obtener las siguientes conclusiones.

El coque cortado se estabiliza adquiriendo adecuadas características físicas, favoreciendo su gasificación y la transmisión calorífica, porque modifica el empaquetamiento del lecho hacia la obtención de una permeabilidad mas favorable al paso de los gases.

Cortar el coque a 30-75 mm., parece ser que no ha influido sensiblemente en el aumento de producción, ya que según la bibliografía, se ha comprobado que en realidad lo que hace aumentar la producción es el incremento en la fracción 20-50 mm. y en este caso dicha fracción aumentó solamente en un 7%, lo que no resulta suficientemente significativo.

Al cortar el coque a 20-65, mejoró la permeabilidad del horno, como puede verse en la tabla 6. 1. y en 6. 2., estimándose esta mejora de la permeabilidad en el aumento de un 12% respecto al período de referencia, confirmandose así los datos de la bibliografía.

Como consecuencia de la mejor preparación de la carga, la adición de caliza al lecho de fusión, que normalmente se emplea para corregir la acidez natural de la ganga con el fin de producir una escoria con un índice de basicidad determinado, disminu-



yó en una proporción de un 51%, como se indica en la tabla 6. 2. Esta circunstancia favorece la eficacia térmica del horno alto, considerandole como un reactor en contracorriente, en el que la preparación mas adecuada de los sólidos (carga ferrica), requiere un consumo de agente reductor y por tanto energético, que viene determinado por los potenciales de oxígeno en cada una de las fases sólida y gaseosa que se enfrentan en el horno.

#### 6. 1. 2. Productos elaborados

Los productos elaborados por el horno alto son: arrabio, escoria y gas. Se estudia separadamente cada uno de ellos.

##### - ARRABIO

Los incrementos en la producción de arrabio, recogidos en las tablas 6. 1. y 6. 2. son importantes, pasando de una producción media en el período de referencia de 318 t.a./día a 421 t.a./día, valor medio alcanzado durante el tercer período de marcha. Esto se ha conseguido porque los controles instalados han permitido aumentar la relación mineral/coque, el regimen de soplado y la temperatura del viento e inyección de vapor de agua.

En la tabla 6. 1. se encuentran las producciones medias de los diferentes períodos considerados, anteriormente citados.

En la tabla 6. 2. se encuentran reflejadas las variaciones de las producciones en los diferentes períodos, con relación al período de referencia. Se ve que se ha producido un aumento en la producción de un 22 a un 32%, alcanzado en el tercer período y que a partir del cuarto y quinto período desciende la producción, por la menor ley en el lecho de fusión y la disminución del ritmo de marcha, como se indica en la figura 6. 3., manteniéndose a pesar de esto con un aumento en la producción de un 16% a un 4,5%.

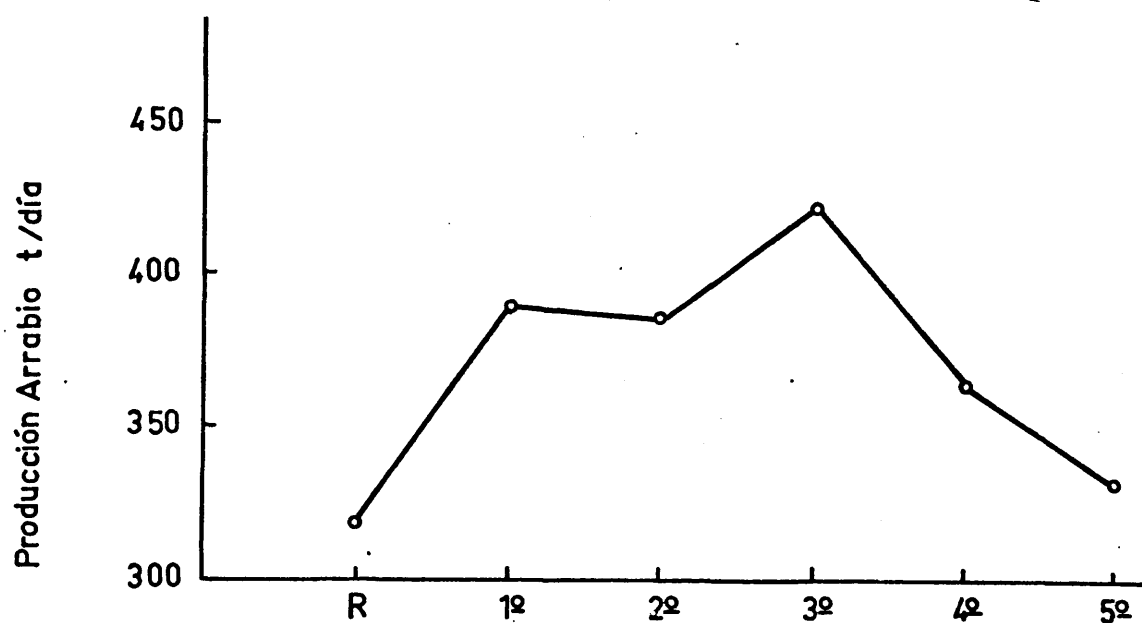


Figura 6. 3. Variación de la producción media de arrabio en los diferentes períodos considerados.

Es de destacar la uniformidad de composición y calidad del arrabio conseguida en los períodos del ensayo, pudiendo considerarse como el mejor arrabio de afino fabricado en toda la historia de la Factoría, como lo acredita la composición media en silicio de 1,01% y en azufre de 0,030%, en vez de los valores medios del período de referencia, de Si = 1,22% y S = 0,065%.

En las tablas 6. 4. y 6. 5. se dan los valores medios, desviaciones típicas y tanto por ciento de coladas comprendidas entre dos valores límites, para las composiciones de Si y S, en el arrabio de los diferentes períodos del ensayo.

TABLA 6. 4.

	<u>Nº coladas</u>	<u><math>\bar{Si}</math></u>	<u><math>\sigma Si</math></u>	<u>% Coladas</u> <u><math>0,6 \leq Si \leq 1,1</math></u>
Primer período	107	1,03	0,3096	70
Segundo período	465	0,99	0,3472	51
Tercer período	284	1,01	0,2729	66

TABLA 6. 5.

	<u>Nº coladas</u>	<u><math>\bar{S}</math></u>	<u><math>\sigma S</math></u>	<u>% Coladas</u> <u><math>0,010 \leq S \leq 0,040</math></u>
Primer período	107	0,037	0,01863	58
Segundo período	465	0,029	0,02296	91
Tercer período	284	0,024	0,01015	92

En dichas tablas se ve que la desviación típica, tanto para el Si como para el S, es menor en los períodos primero y tercero que en el segundo, explicandose esto por el grave accidente de marcha ocurrido en ese período.

La mejor regularidad de marcha corresponde al tercer período como puede deducirse en las tablas 6. 4. y 6. 5.

En las figuras 6. 4., 6. 5. y 6. 6., se encuentran los histogramas del % Si y % S del arrabio, en los tres períodos considerados.

Con el fin de conocer las variaciones de la composición del silicio en el arrabio durante la colada, se tomaron tres muestras al principio (A), a la mitad (B) y al final (C).

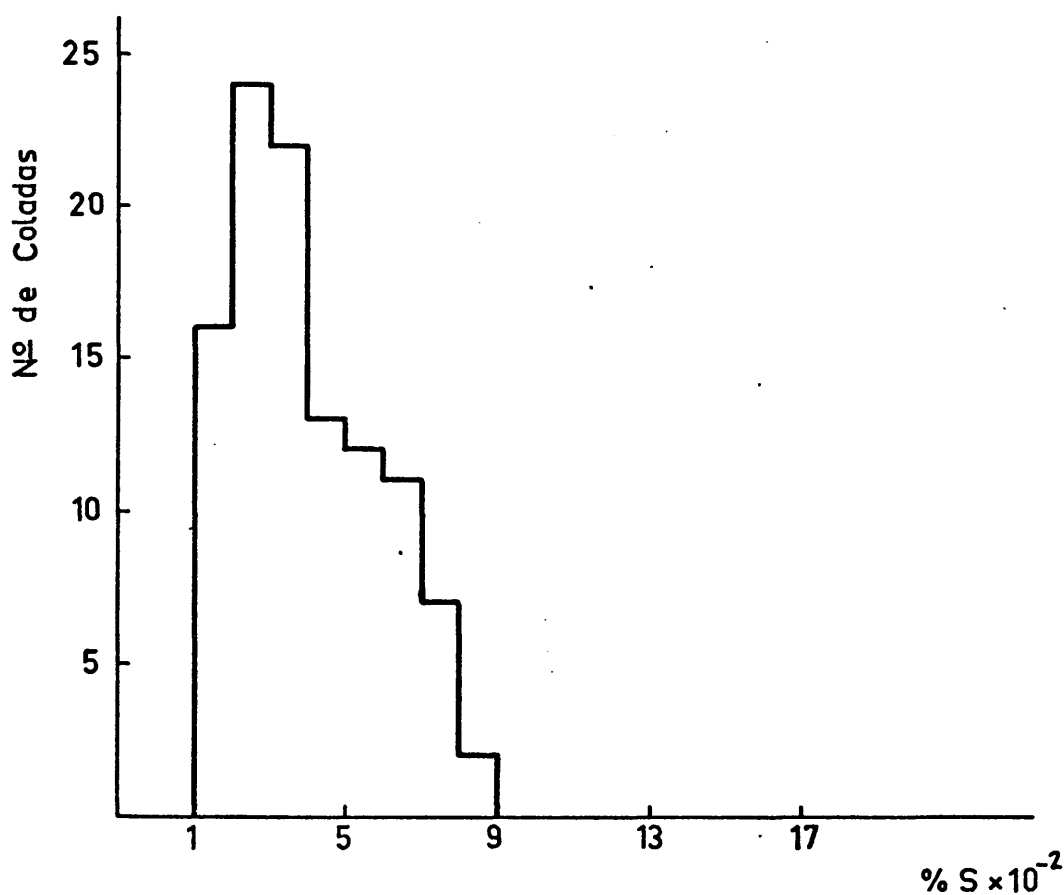
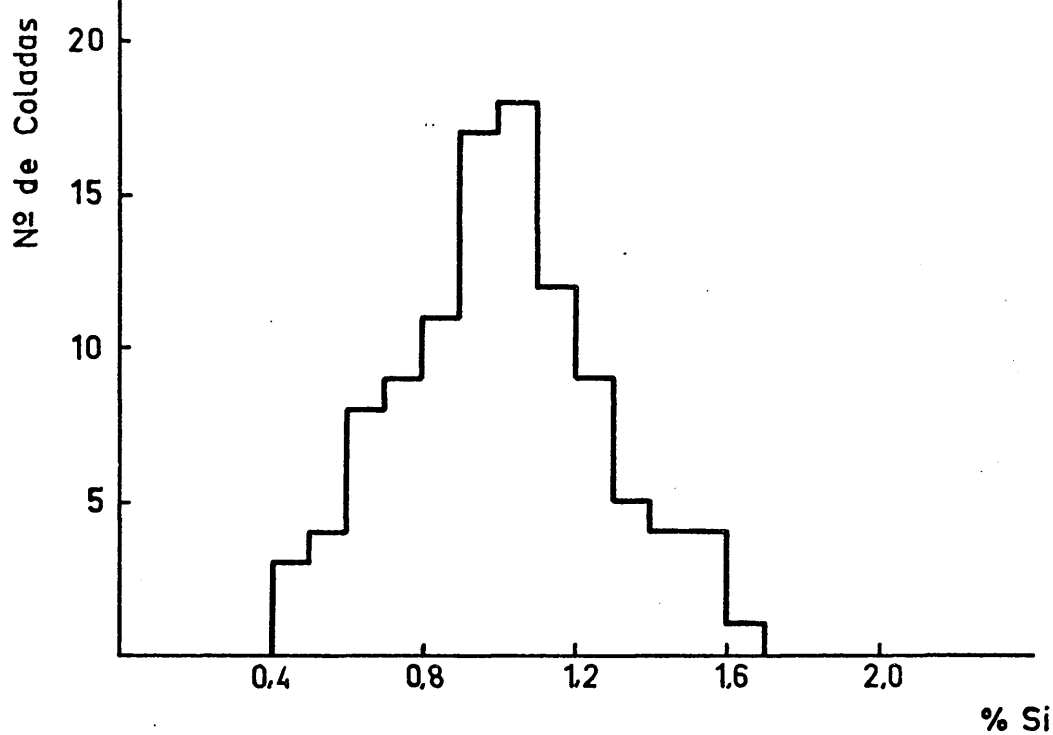
Llamando  $n$  al número de coladas que se estudia,  $I$  el número de colada y  $Si$  al tanto por ciento de silicio que se estudia, los contenidos de este elemento en las tres muestras tomadas durante la colada  $I$ , se pueden designar por:

$$Si_I^A, \quad Si_I^B, \quad Si_I^C$$

el contenido medio será,

$$Si_I^M = \frac{Si_I^A + Si_I^B + Si_I^C}{3}$$

por lo tanto los valores que caracterizan al silicio en una cola-



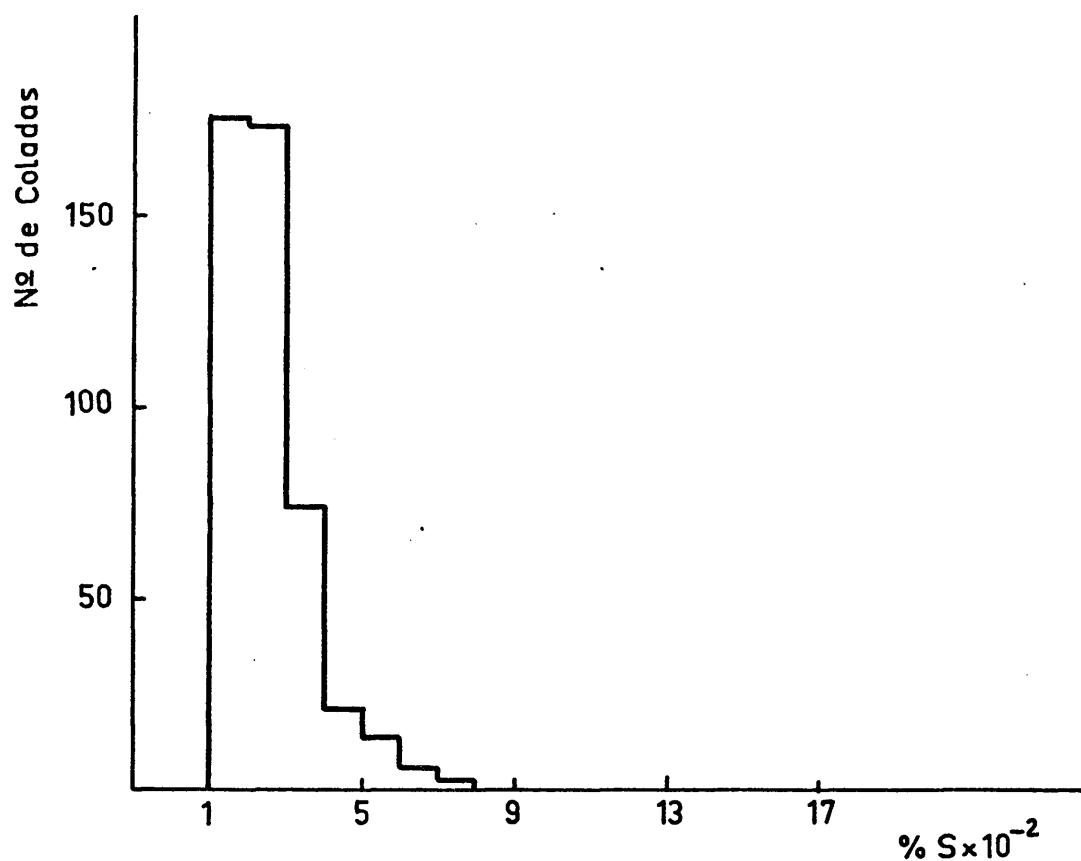
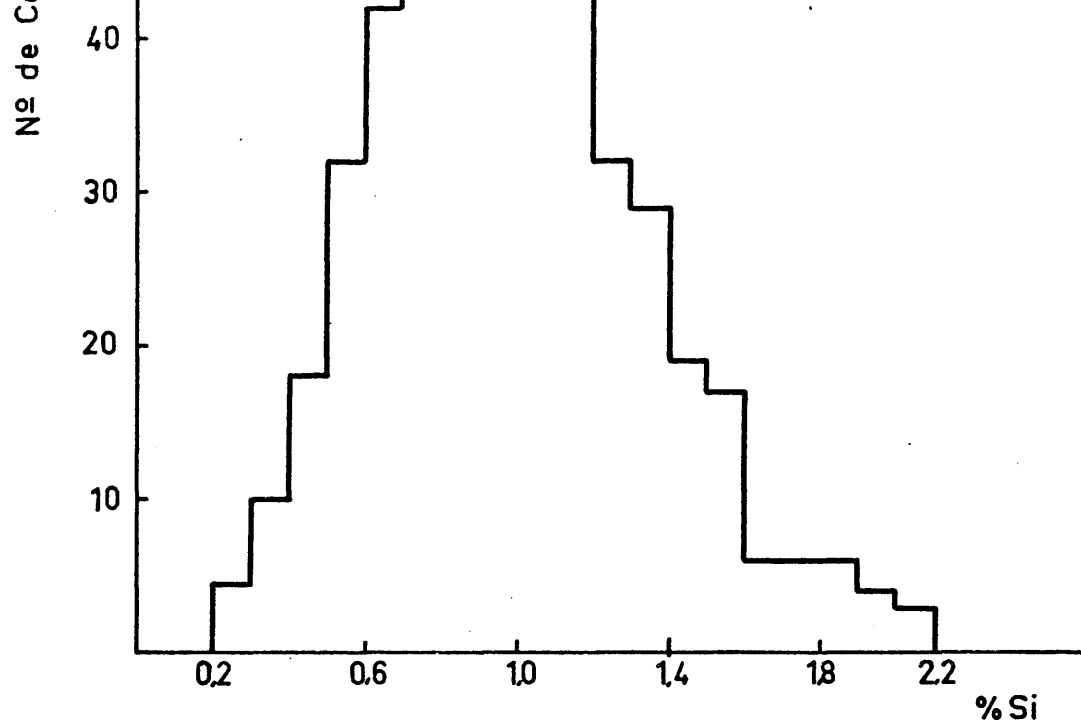
Periodo 21/1-5/2  
Nº de coladas 107

$\sigma_{Si} = \pm 0.3096$   
 $\sigma_S = \pm 0.01863$

Media = 1.03  
Media = 0.037

HISTOGRAMAS DEL %Si Y %S EN EL ARRABIO

FIG.6.4.



Periodo 9/2-19/4

 $\sigma_{Si} = 0.3472$ 

Media = 0.99

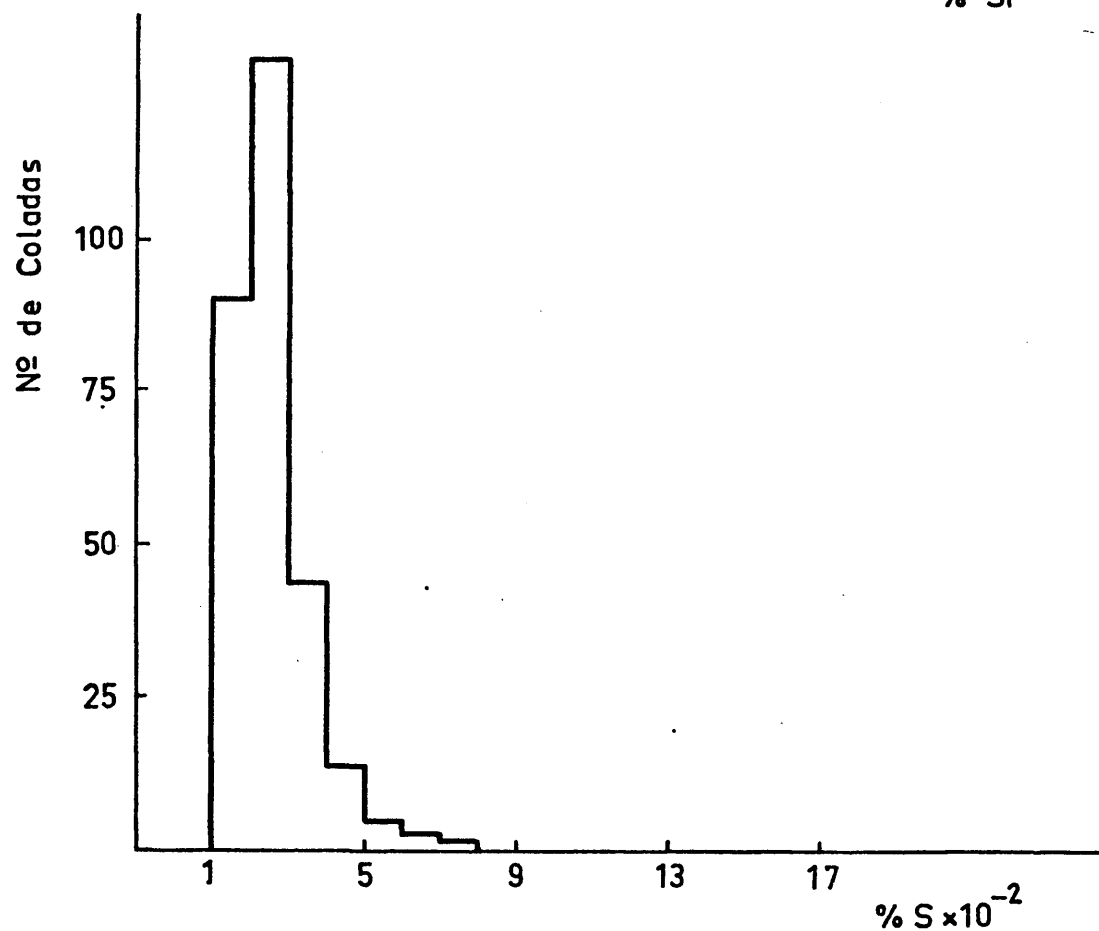
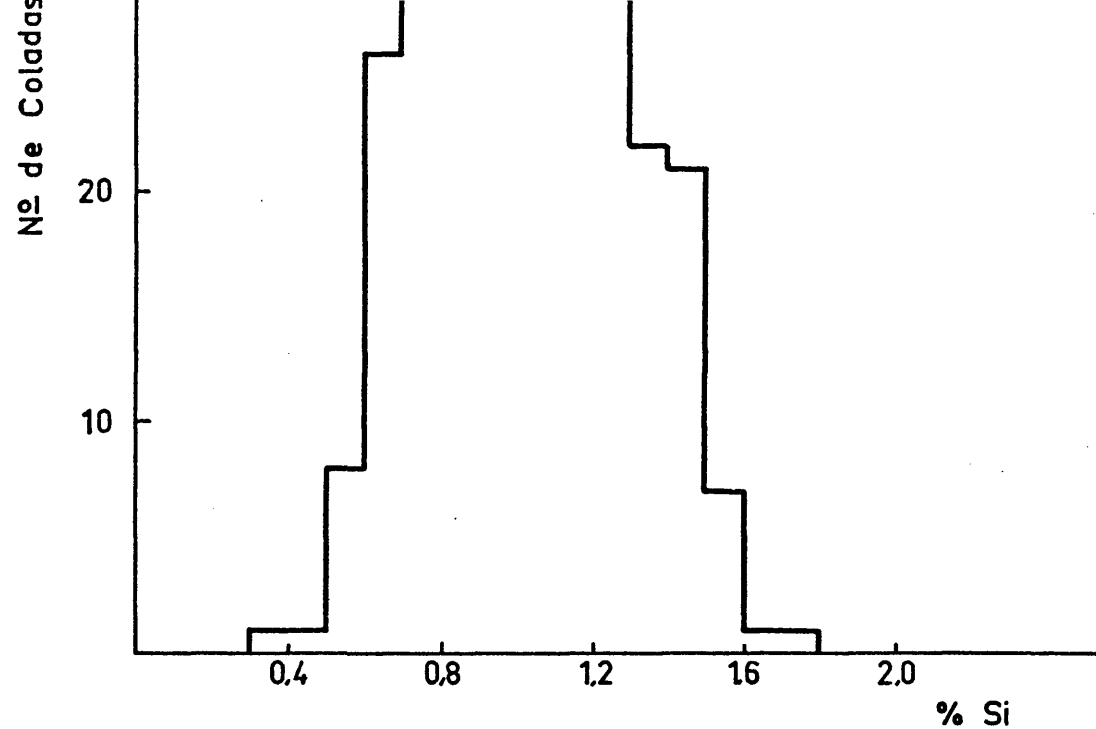
Nº de Coladas 465

 $\sigma_S = 0.02296$ 

Media = 0.029

HISTOGRAMAS DEL %Si Y %S EN EL ARRABIO

FIG. 6.5.



Periodo 20/4-31/5

$\sigma$  Si = 0.2729

Media = 1.01

Nº de Coladas 284

$\sigma$  S = 0.01015

Media = 0.024

HISTOGRAMAS DEL %Si Y %S EN EL ARRABIO

FIG.6.6.

da son,

$$\frac{\text{Si}_I^A}{\text{Si}_I^M} \cdot 100; \quad \frac{\text{Si}_I^B}{\text{Si}_I^M} \cdot 100; \quad \frac{\text{Si}_I^C}{\text{Si}_I^M} \cdot 100;$$

La media de estos valores será,

$$\bar{\text{Si}}^A = \frac{\sum \frac{\text{Si}_I^A}{\text{Si}_I^M} \cdot 100}{n} \quad \text{y análogamente } \bar{\text{Si}}^B \text{ y } \bar{\text{Si}}^C$$

Para calcular dichos valores, en el primer período se consideran 20 coladas, 89 en el segundo y 42 en el tercero. Los resultados obtenidos se encuentran representados en las figuras 6.7, 6.8 y 6.9., indican la evolución de la composición del silicio en el arrabio a lo largo de la colada, observando que aumentan desde el principio al final de la colada.

En el primer período de marcha la variación del silicio es mayor desde el principio a la mitad que desde la mitad al final de la colada, correspondiendo un aumento de un 4% relativo en el primer caso y un 2% relativo en el segundo caso como puede verse en la figura 6. 7. Tanto en el segundo como en el tercer período de marcha las variaciones son iguales entre el principio y mitad y mitad y final de colada.

Para interpretar estos resultados se supone que el arrabio del principio de colada se ha formado inmediatamente des-



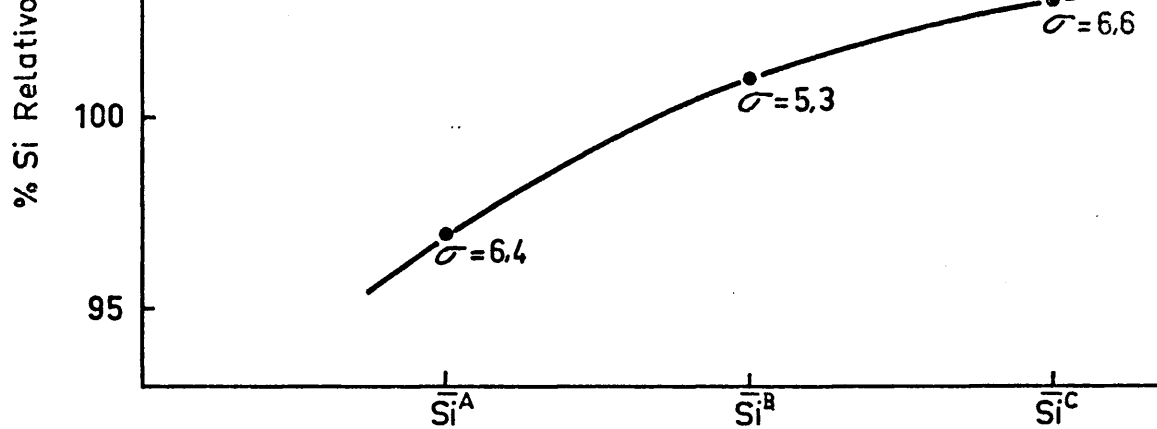


FIG.- 6.7. Evolución del Si durante la colada en el periodo 1º

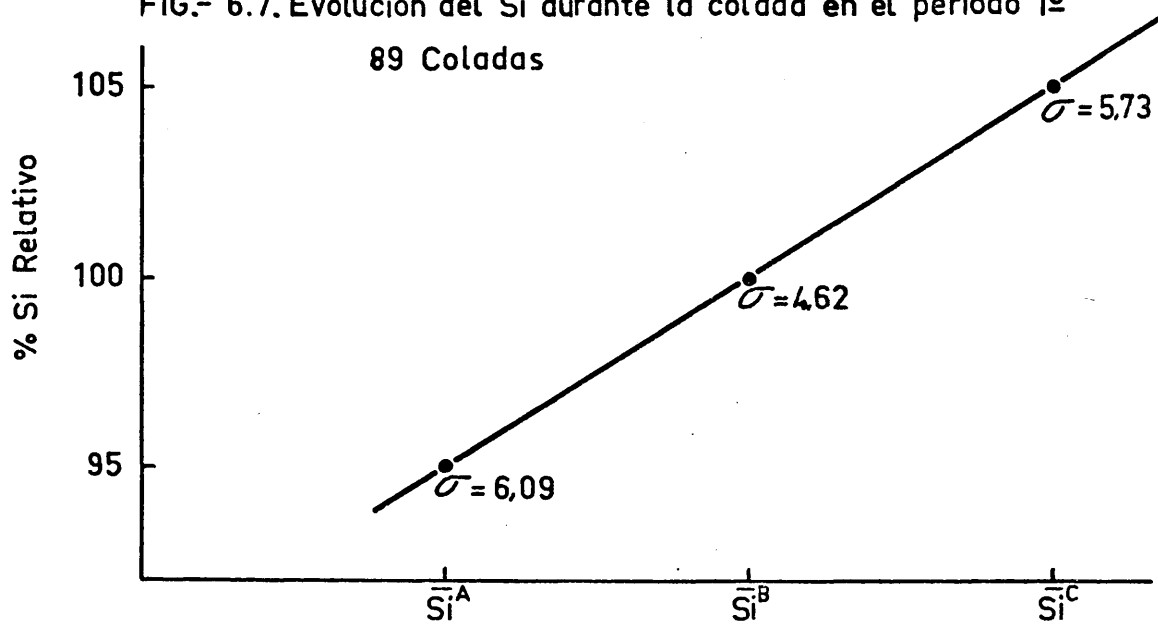


FIG.- 6.8. Evolución del Si durante la colada en el periodo 2º

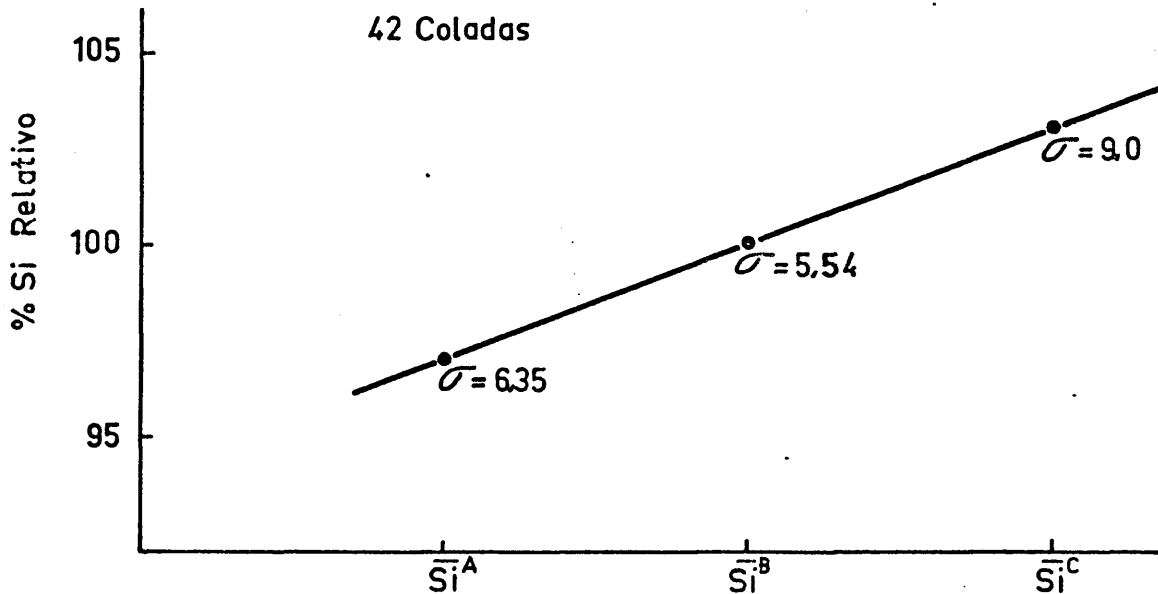


FIG.-6.9. Evolución del Si durante la colada en el periodo 3º

pues de la colada anterior y el que sale al final se ha formado en esos momentos, saliendo el arrabio del crisol en sucesivas capas sin mezclarse. Se han publicado varios trabajos (45), (46), (47), (48) y (49), estudiando la evolución de los diferentes elementos disueltos en el arrabio, durante la colada, obteniendo resultados dispares.

A las variaciones del contenido de silicio a lo largo de la colada se le puede dar la siguiente interpretación.

Para compensar el volumen de arrabio colado, se produce un rápido descenso de la carga, dando lugar a modificaciones en el perfil térmico, apareciendo en zona de toberas materiales fríos, mal preparados y con bajo grado de reducción. En estas condiciones se produce una disminución en la reducción de la sílice y por tanto se produce un arrabio con un contenido bajo en Si. Al volver a las condiciones normales, se restablece el perfil térmico inicial, aumentando por lo tanto el contenido del silicio en el arrabio, como sucede experimentalmente.

#### - ESCORIA

Los valores de los pesos de escoria que aparecen en la tabla 6.1., se han determinado teóricamente mediante el cálculo del lecho de fusión y no por pesada directa debido a causas ajenas a nuestra voluntad. La disminución del volumen de escoria producida en los períodos primero, segundo y tercero, corresponden al menor peso del lecho de fusión neto y al menor consumo de coque. La basicidad, viscosidad y composición de la escoria durante el ensayo fueron cualitativamente satisfactorios para cumplir su misión en el proceso siderúrgico

como lo demuestra la inmejorable calidad del arrabio producido, re conocida por los técnicos de la Fábrica como el mejor en toda su historia. Además, su composición se mantuvo con pocas variaciones consiguiéndose un adecuado grado de desulfuración a pesar de su re lativa acidez. En el cuarto período, como consecuencia del cambio de carga, se produjo una notable disminución en el contenido de MgO, produciéndose una escoria viscosa y bastante refractaria, lo que originó problemas para su evacuación, disminuyendo además nota blemente el grado de desulfuración. Para evitar este inconveniente hubo que recurrir a la adición de dolomia .

En la figura 6. 10. se representa la composición de azufre en el arrabio en los diferentes períodos de marcha, frente a los índices de basicidad de la escoria.

#### - GAS

El conocimiento continuo del análisis del gas de tragante, por medio del nuevo equipo analizador continuo, seleccio nado, montado e instalado bajo nuestra dirección, en funcionamiento por primera vez en España, permitió al operador del horno el co nocimiento instantáneo y continuo de la marcha del horno, pudiendo actuar rápidamente sobre cualquier tipo de perturbación producida, regularizando la marcha y consiguiendo de esta forma una utiliza ción máxima del poder reductor de los gases, disminuyendo de esta

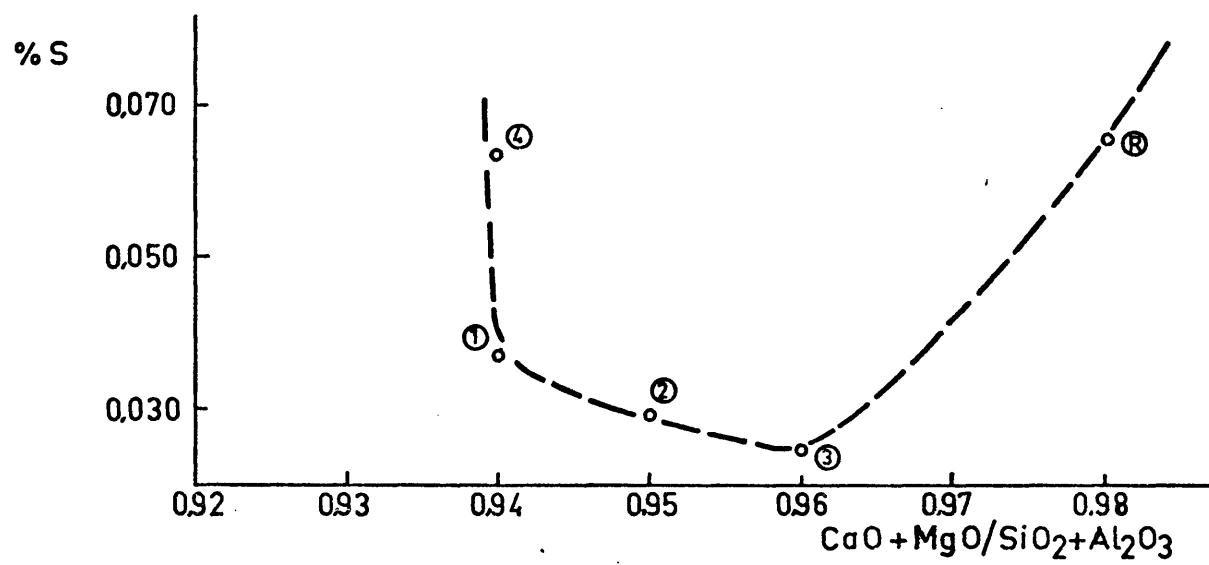
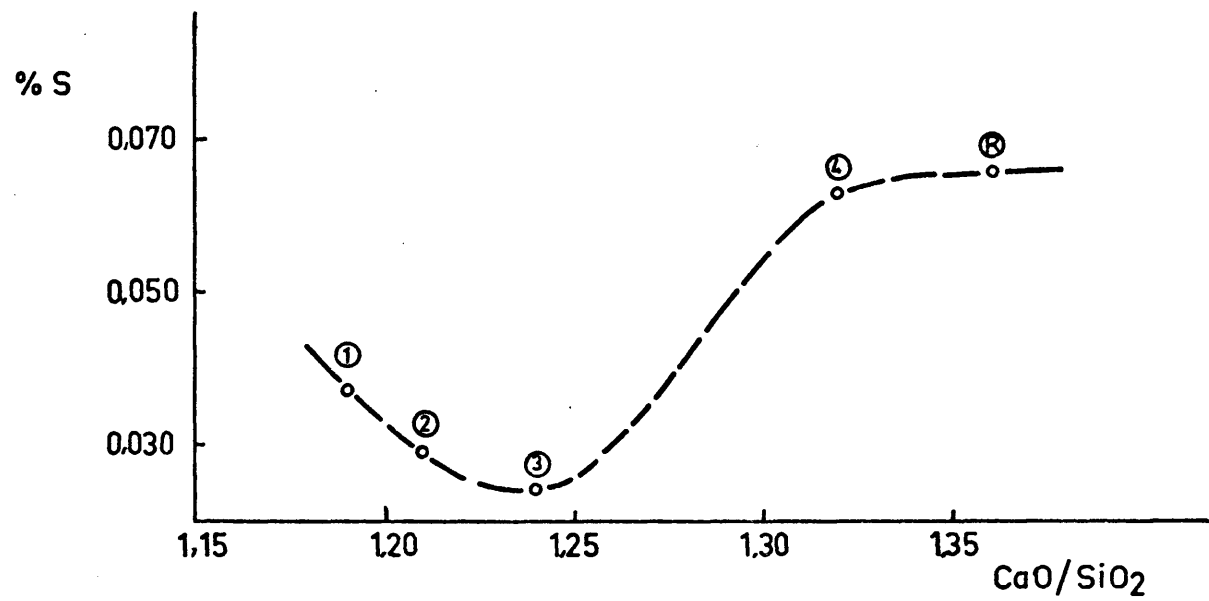


FIGURA 6. 10. Variación de la composición del azufre en el arrabio frente a los índices de basicidad de la escoria.

manera el consumo de coque por haberse aumentado notablemente la eficacia térmica del reactor. En la figura 6. 11. se ve el incremento de la relación  $\text{CO}_2/\text{CO}$ , alcanzando el valor de 0,69 en el tercer período, valor que está a nivel de las mejores marchas del mundo.

El mejor aprovechamiento del poder reductor del gas reflejado en la tabla 6. 2., es imputable en primer término, al control más riguroso de la operación y en segundo lugar a la mejor calidad química de la carga y a la estabilización del coque cargado, que posee un menor tamaño, por el proceso de cortado a que se le somete, lo cual favorece la transmisión calorífica y su gasificación. Los valores elevados de la relación  $\text{CO}_2/\text{CO}$  en los períodos cuarto y quinto, con la carga sin preparar, pero utilizando los controles instalados, indican la efectividad del control.

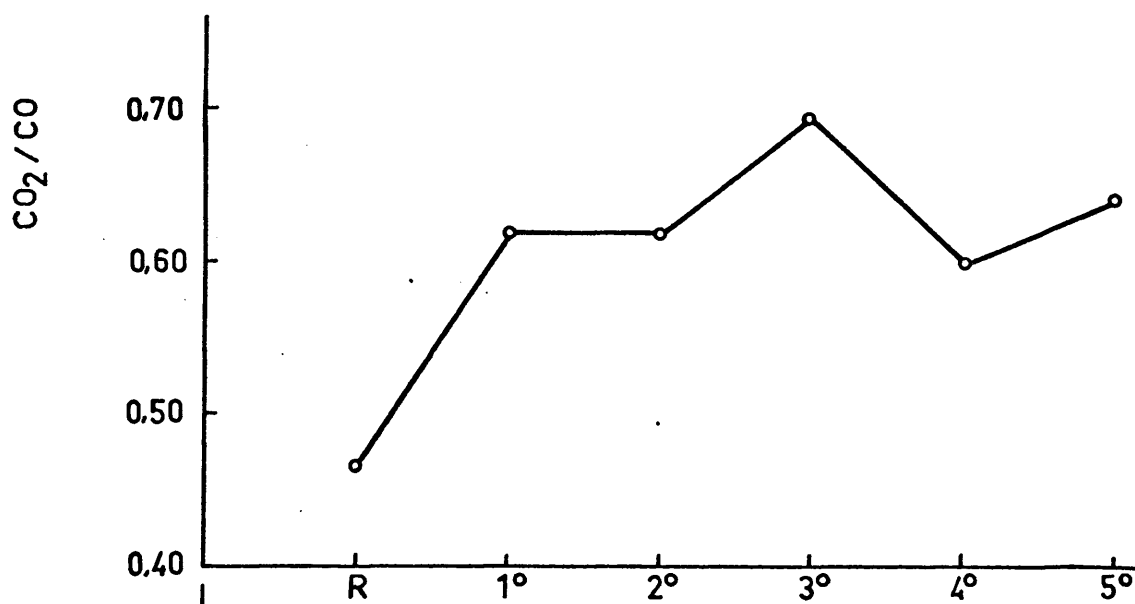


Figura 6. 11 Variación de la relación  $\text{CO}_2/\text{CO}$  del gas de tragante en los diferentes períodos.

### 6. 1. 3. Consumo específico de coque

El consumo de coque es el factor más importante en la fabricación convencional del hierro, no solamente por su elevada significación económica, la cual se deduce al considerar que el gasto de este combustible representa más del 60% de los gastos totales de fabricación, sino también, por la escasez de buenos carbones coquizables, exigidos para mantener los elevados ritmos de producción de las modernas plantas siderúrgicas.

Este último problema de la escasez de carbones, tiene su origen en el creciente aumento anual de la producción mundial de acero y en las limitadas reservas mundiales de buenos carbones coquizables. Las soluciones siderúrgicas han sido sólo parciales en el sentido de sustituir parte del coque por aceite pesado, carbón pulverizado y/o por gas natural. Se preve que en los próximos diez años esta sustitución aumentará notablemente, siendo necesario buscar soluciones al problema mediante el empleo de nuevas técnicas entre las que irá cobrando gran importancia el empleo de la energía nuclear, la inyección de gases reductores en la cuba del horno alto, alcanzándose quizás un nivel de sustitución del coque, por estas nuevas fuentes de energía, que probablemente llegarán al 60% del consumo específico actual.

Parece razonable que para enfrentarse al problema de los consumos específicos del coque, se comience por conocer y determinar experimentalmente el consumo mínimo en las circunstancias locales que prevalecen en las fábricas españolas y en condiciones ope

racionales normales, poniendo a contribución los métodos de control y regulación más completa que poseen algunos hornos experimentales del mundo.

Un aspecto parcial que se ha considerado en este programa de investigación como prometedor para colaborar en la solución de la escasez de coque, ha sido el de incrementar el campo de utilización de las fracciones que se consideran como coque de horno alto sencillamente disminuyendo la malla de cribado del mismo, desde 30 mm. a 20 mm.

De las misiones que cumple el coque en el proceso siderúrgico del horno alto, las que condicionan su consumo son:

- El suministro del calor necesario para la fusión.
- El suministro del agente reductor, ya sea como carbono, ya sea indirectamente como CO.

El punto fundamental de la teoría del funcionamiento ideal del horno alto, fué expuesta por primera vez en 1872 por Gruner, está basado en la influencia que sobre el consumo de coque tiene la reducción directa e indirecta.

Las ideas manejadas por éste, vienen siendo objeto de diversas interpretaciones y discusiones en los últimos treinta años. La fuente de todas las controversias está en que, con los medios actuales unicamente se puede determinar de modo preciso los

consumos totales de coque, de la unidad de producción, siendo imposible conocer, en cada momento, el desarrollo de los fenómenos de la reducción y la significación que sobre los consumos, tienen las marchas transitorias que se producen en el horno alto.

Los resultados obtenidos en el presente ensayo, se recogen en la tabla 6. 6., todos ellos están corregidos al 85% de carbono fijo en coque.

TABLA 6. 6. CONSUMOS ESPECIFICOS DE COQUE

<u>Período</u>	<u>Referencia</u>	<u>1º</u>	<u>2º</u>	<u>3º</u>	<u>4º</u>	<u>5º</u>
Consumo específico Kg./t.	703	619	597	598	736	718
% de variación sobre base	100	88	85	85	104,6	102,4

Se ve que respecto al período de marcha tomado como referencia, en los tres primeros períodos del ensayo, los consumos específicos de coque disminuyeron en 84, 106 y 105 Kg./t.a.

Considerando como base 100 el consumo de coque de 703 Kg. en el período de referencia, se estudian los efectos de las mejoras introducidas en cada período. Dichas mejoras son las siguientes: la mejor preparación y enriquecimiento de la carga, el acondicionamiento del coque por su cortado a un tamaño menor y la incorporación de los medios y métodos de acondicionamiento del viento y regulación de la marcha por los controles incorporados.



El estudio crítico de los resultados obtenidos indican claramente que el conjunto de todos los factores puestos a contribución disminuyen el consumo de coque hasta en un 15%, pasando de un consumo de 703 Kg./t.a. a 597 Kg./t.a.

La tendencia de la disminución en el consumo de coque en los períodos del ensayo, se aprecia claramente en la figura 6. 12.

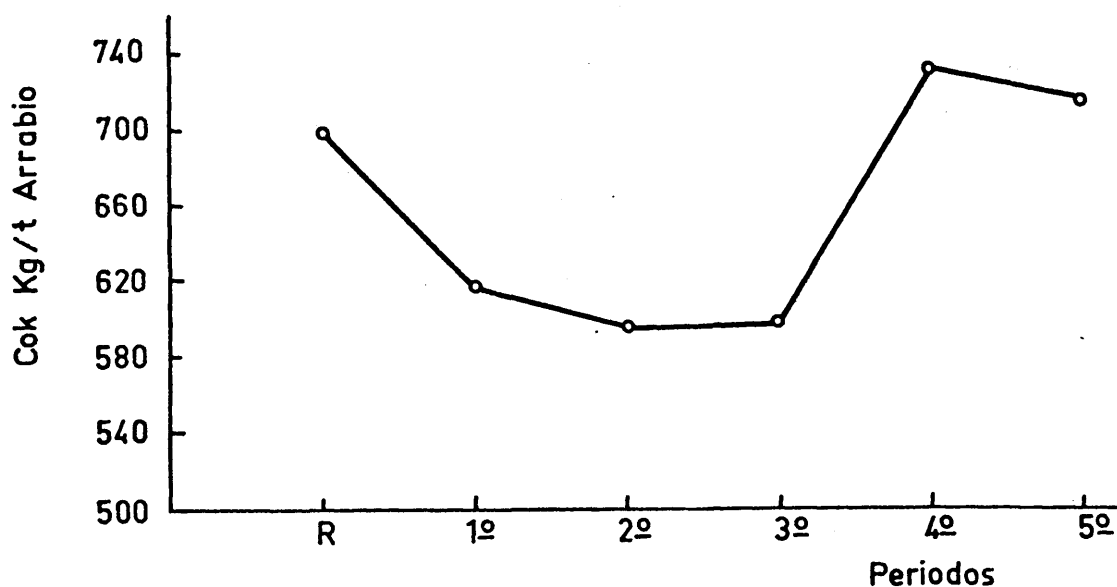


FIGURA 6. 12. Variación del consumo de coque en los diferentes períodos del ensayo

Las dificultades que presenta la teoría de Gruner, hace que únicamente se pueda dar una interpretación cualitativa de cada uno de los factores que afectan al consumo.

- La mejor preparación del lecho de fusión actúa po  
sitivamente con respecto al consumo, indirectament  
e, favoreciendo la permeabilidad del lecho. Al  
aumentar la reductibilidad de los sólidos se pro-  
duce disminución en el consumo por realizarse la  
reducción en zonas en que no se verifica la rege-  
neración del monóxido de carbono.
- El enriquecimiento del lecho actuará positivamen-  
te y de modo directo en el ahorro del consumo de  
coque, por necesitar menos energía térmica para  
fundir la menor cantidad de ganga. La utilización  
de mineral sinterizado autofundente, influye tam-  
bien notablemente en la disminución del consumo.  
Observando la figura 6. 12. parece ser que el prin-  
cipal factor que influye en la disminución del con-  
sumo de coque es la mejor preparación, reductibili-  
dad y enriquecimiento del lecho y teniendo en cu  
enta los valores de la tabla 6. 6. se encuentra una  
disminución de un 12% del primer período sobre el  
período de referencia, achacable a dichos factores.

La utilización de un coque de menor tamaño dá lu-  
gar a una disminución en el consumo, indirectament  
e, al favorecer la distribución de los gases que  
atraviesan la cuba, produciendo su mejor utiliza-  
ción. Es difícil poder distinguir los efectos de  
cada una de las dos granulometrías cargadas al

horno, ya que como puede verse en la tabla 3. 10., comparando el primer período, en el que no se cortó el coque, con el segundo y tercero, se ve que se produce una disminución de 22 y 21 Kg./t.a. lo que supone un ahorro en el consumo de un 3% sobre el primer período, imputable a la utilización de un coque de menor tamaño, lo que confirmó las previsiones teóricas.

Los principales efectos de la inyección de vapor de agua al viento sobre el consumo específico del coque son los siguientes:

- La descomposición endotérmica en toberas en presencia del coque,  $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ , da lugar a un consumo suplementario de coque.
- El aumento en la temperatura del viento, necesario para contrarrestar el enfriamiento producido por la descomposición endotérmica, supone una disminución en el consumo.
- El aporte de hidrógeno suplementario, que participa en la reducción, hace disminuir en parte la reducción directa y por lo tanto el consumo de coque.
- El aumento de la permeabilidad del lecho, influye positivamente sobre el consumo.

El balance final será positivo, siempre que el aumento de inyección de vapor, vaya acompañado de un incremento en la temperatura del viento, que equilibre la energía térmica utilizada en la descomposición endotérmica del vapor de agua.

No ha podido comprobarse claramente las previsiones teóricas sobre la influencia de la inyección en el consumo de coque, por razones ajenas a la investigación. Por una parte se tropezó con la inercia de los operadores a cambiar sus clásicas actuaciones de control, y que además, en la fábrica se tomaba con prevención cualquier aumento propuesto en el nivel de inyección de vapor, no pudiéndose alcanzar el valor de  $30 \text{ gr. H}_2\text{O/m}^3$ , con el cual se podría actuar, quitando vapor en caso de enfriamiento o aumentándolo en caso de un calentamiento del horno.

La tabla 5. 5. indica que el valor máximo de inyección de vapor en períodos cortos y excepcionales fué de 18,5 gr.  $\text{H}_2\text{O/m}^3$ , no existiendo volante térmico suficiente para analizar la influencia del vapor sobre el consumo de coque.

Los efectos del control y la regulación sobre el consumo del coque no pueden deducirse por comparación del período de referencia y el quinto, por no haberse utilizado la misma carga en todos ellos, sin embargo, los efectos del control siempre han actuado positivamente, contribuyendo también en la disminución del consumo de coque, al conocer el operador instantaneamente los trastornos habituales de la marcha diaria del horno, por medio del análisis continuo del gas de tragante. De esta forma fué posible conocer rapidamente cualquier tipo de perturbaciones, como: entrada

de agua en el horno por rotura de tobera o cajas de refrigeración, marcha perezosa del horno, malas condiciones de reducción, etc., permitiéndole actuaciones rápidas para corregir lo que normalmente son causas de enfriamientos locales del horno y que dan lugar a un mayor consumo de coque.

La disminución en el consumo de coque en 100 Kg./t.a. al nivel de producción del horno nº 1 de 400 t./día, supone un ahorro de coque de 40 t./día.

#### 6. 1. 4. Indices comparativos de marcha

Para enjuiciar los resultados de explotación de las plantas de hornos altos se utilizan diferentes fórmulas estimadoras de la productividad o de los consumos específicos mínimos de coque. Se conocía que todas las expresiones que se utilizan normalmente son aproximadas (50), mediante su aplicación sistemática a los resultados obtenidos en la presente investigación, se han establecido los límites de validez de todas ellas y así poder seleccionar los criterios estimadores mas convenientes para este caso.

Resumiendo, las conclusiones a las que se ha llegado mediante el estudio crítico de las fórmulas aplicadas, se encontró lo siguiente:

Las fórmulas, que como la de Thibaut representan interpretaciones de los resultados de marcha locales, no se han podido

do generalizar a los resultados de la presente investigación, ya que las aproximaciones que se obtienen son insuficientes y los resultados obtenidos son erróneos en la mayor parte de los casos.

Otros estimadores como los de Flint y Göeger, cuyas expresiones matemáticas son sumamente laboriosas por el gran número de variables que intervienen, dan lugar a un deficiente grado de aproximación en los casos en que se han aplicado.

La fórmula de Rice, fundada en los anillos de combustión, presenta un grado de aproximación bastante deficiente con respecto a los resultados prácticos. Esta expresión, como las dos anteriores, favorece como ya se sabía (50) a los hornos grandes.

También se han considerado las expresiones de Colcough y la de A.H. Leckie y F.L. Waring, no pudiendo establecer criterios diferenciadores, para poder juzgar los distintos períodos de marcha del ensayo.

Se cree que las principales razones de estos resultados negativos, obtenidos al aplicar estas fórmulas, corresponden al tamaño del horno alto y a las específicas condiciones locales de operación, además de las citadas en cada caso particular.

Los índices empleados en la literatura rusa están basados en el volumen útil del horno necesario para obtener una tonelada en un día de operación (índice Kipo).

Los índices utilizados en literatura americana son los siguientes:

Intensidad de combustión, definida por las toneladas de coque quemadas en un día de operación y por  $m^2$  de superficie de crisol. Índice de producción, definido por las toneladas de arrabio producido por  $m^2$  de superficie de crisol y día. Índice de producción, generalizado por los informes del Instituto Internacional del Hierro y el Acero, cuya expresión es: tonelada de arrabio por  $m^3$  de horno y día de operación.

Se han utilizado todos estos índices para enjuiciar los distintos períodos de marcha, considerando que todas las expresiones son demasiado simplistas al no considerar el peso neto del lecho de fusión. Por ese motivo incluimos, junto con los anteriores en la tabla 6. 7., el índice inglés de BISRA, definido por la expresión:  $\frac{P.(B+500)}{985 \cdot D^2}$ , para hornos con un diametro de crisol menor de 6 m., en donde B representa el peso neto del lecho de fusión.

Los inconvenientes que presentan cada uno de estos índices son los siguientes:

El índice Kipo, supone que la producción aumenta linealmente con el volumen del horno, esto se ha demostrado (50) que no es cierto. Es interesante considerar que los trabajos rusos recomiendan diferentes valores de nivel estandar del índice Kipo, para hornos de distintos tamaños.

Los índices americanos están basados en la superficie del crisol, porque suponen que la intensidad de combustión y la producción varían linealmente con la superficie del crisol, supuesto que no es real.

Se hacen notar estos inconvenientes sobre todo cuando se trata de comparar distintas unidades de producción, sin embargo son representativos al aplicarlos a los distintos períodos de marcha de un mismo horno, como en el caso de la presente investigación.

En la tabla 6. 7., de comparación de los índices de marcha en los distintos períodos del ensayo, se encuentran en primer lugar los valores del índice Kipo y a continuación se toma como base 100 de comparación, los valores que alcanzan todos los índices citados en el período de referencia, refiriéndose a él los obtenidos en los diferentes períodos de marcha.

Del exámen global de la tabla 6. 7. se deduce que se consiguen importantes mejoras en el rendimiento del horno alto gracias a los medios utilizados en este ensayo, alcanzando de esta forma altas producciones y bajos consumos de coque.

A continuación se realiza un estudio sistemático de cada uno de los valores encontrados:

El índice Kipo, referido a la utilización del volumen del horno, indica que es posible alcanzar una mejora de hasta el 24% que se obtiene al comparar el tercer período de marcha con el de referencia.



TABLA 6. 7.

VALORACION COMPARATIVA DE INDICES DE MARCHA

	<u>REFERENCIA</u>						
	<u>VALOR</u>	<u>BASE</u>	<u>1º</u>	<u>2º</u>	<u>3º</u>	<u>4º</u>	<u>5º</u>
Kipo	0,78	--	0,64	0,64	0,59	0,67	0,74
Valor comparado Kipo	--	100	82	82	76	86	95
" " m <sup>3</sup> vien- to/t.a.	2.339	100	91	89	84	101	102
Valor comparado t.coque/ m <sup>3</sup> horno día	0,96	100	101	97	103	111	107
Valor comparado t.coque/ m <sup>2</sup> crisol día	18,0	100	101	97	104	112	109
Valor comparado t.a./m <sup>2</sup> crisol día	24,04	100	122	121	133	116	106
Valor comparado t.a./m <sup>3</sup> horno día	1,28	100	123	122	133	116	105
Valor comparado produc- tividad BISRA	49,7	100	113	105	114	117	107
Valor comparado tiempo parada/día (minutos)	49	100	204	237	90	12	90

Viento por tonelada de arrabio: la marcha con menor consumo de coque, sirve para aumentar la producción, al reducir la cantidad de viento que es necesario soplar para obtener una tonelada de arrabio. En la tabla 6. 7., se indica que esta reducción ha sido de 9,11 y 16% respectivamente en los períodos primero, segundo y tercero.

Los índices representados por  $t.\text{coque}/m^3 \text{ vol.hor-}$  no día,  $t.\text{coque}/m^2 \text{ crisol día}$ , condicionan el ritmo de marcha del horno y con ello la productividad. Si el ritmo de marcha es bajo, hay mas tiempo para que se verifique la reducción indirecta dando lugar a valores elevados de  $CO_2$  en el gas de tragante: la energía obtenida del combustible será elevada y el consumo de coque bajo. Al aumentar el ritmo de marcha disminuye el tiempo para que se ve rifique la reducción indirecta gaseosa y para aprovechar al máxi- mo la capacidad reductora de los gases es necesario que la reduc- tibilidad de los materiales de la carga y el contacto gas sólido sean buenos. Estas circunstancias concurren en los períodos prime- ro, segundo y tercero. El ritmo de marcha, por lo que se refiere a la combustión del coque, en estos tres períodos, ha permanecido practicamente constante respecto al período de referencia, ya que solamente se han producido variaciones en un  $\pm 3\%$  y  $\pm 4\%$ .

Considerando separadamente cada uno de los períodos primero, segundo y tercero y teniendo presente los valores medios del análisis continuo del gas de tragante que aparece en la tabla 6. 1., se llega a las siguientes conclusiones:

En el primer período se mantuvo el ritmo de marcha con buena utilización de los gases ( $\%CO = 25,11$  y  $\% CO_2 = 15,57$ ), composición notablemente mejor que en el período de referencia ( $\%CO = 27,03$  y  $\% CO_2 = 12,06$ ), lo que justifica al considerar que en el período de referencia fué mayor el consumo de coque y menor producción.

En el segundo período el ritmo de marcha o de combustión disminuye en un 3% en ambos índices con respecto al de referencia, por ser el período con mejor utilización del poder reductor de los gases y al no ser mínimo el consumo de coque, la marcha del horno fué la más caliente, lo que se ve al obtener los mayores valores de Si en el arrabio, junto con las mayores temperaturas en el gas de tragante, escoria y una de las mayores en el arrabio.

En el tercer período se aumentó el ritmo de marcha en un 3% o un 4%, según se refiera al volumen del horno o al área del crisol, respecto al período de referencia. Estas cantidades representan unas diferencias del 6% y 7% con relación al período anterior, conseguidas al aumentar al máximo la capacidad de la sopla<sup>n</sup>te. Fué necesario modificar los ciclos de carga y su secuencia, con el fin de disminuir la presión. El ciclo inicial de carga era: CCCC/MMMM, siempre el mismo. Con el fin de pasar de marcha periférica a central, cada ocho horas se realizó la carga según la secuencia CCMM/CCMM, pasando al cabo de ocho horas al ciclo MMCC/MMCC, consiguiendo de esta forma una mayor permeabilidad del lecho, alcanzando la presión valores similares a los del período de referencia.

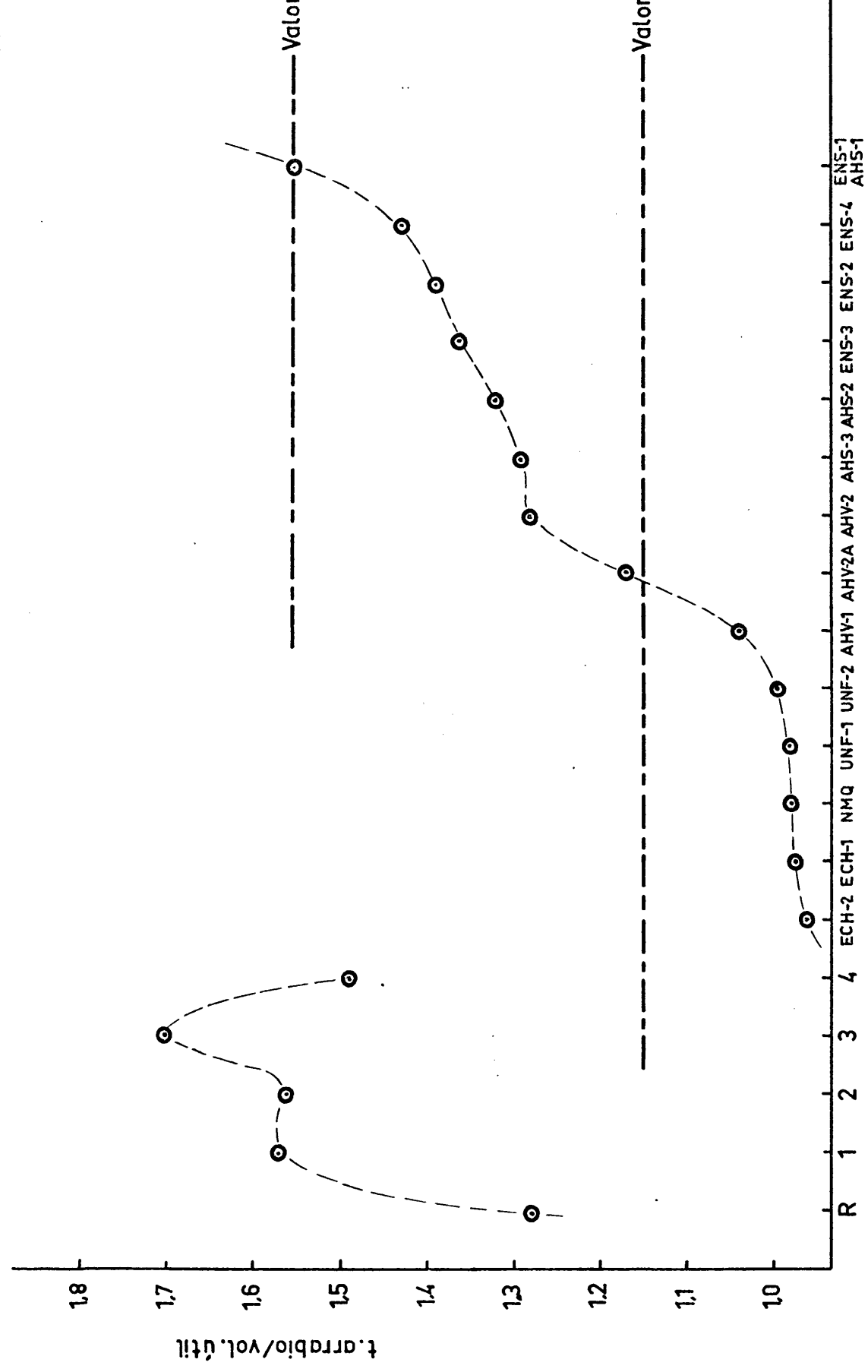
Los índices representados por las toneladas de arrabio por  $m^2$  de superficie de crisol o por  $m^3$  de volumen de horno y por día, ponen de manifiesto que los incrementos respecto al período de referencia han sido de 5,32, 5,20, 7,92, 3,91 y 1,46 t.a./ $m^2$  día, respectivamente en cada uno de los períodos, lo que representa en términos relativos aumentos de 22, 21, 33, 16 y 6%, que corresponden a resultados completamente satisfactorios y concordantes con lo que estaba previsto en la programación del ensayo.

Los resultados obtenidos con el índice  $t.a./m^3$  horno día, son plenamente satisfactorios por situar la operación de este horno, en uno de los primeros puestos europeos y en el setenta lugar de los mundiales. Las diferencias absolutas respecto al período de referencia son de 0,29, 0,28, 0,42, 0,21 y 0,06  $t.a./m^3$  día, lo que en términos relativos representa aumentos del 23%, 22%, 33%, 16% y 3%. En ambos casos se observa que el período óptimo fué el tercero y que entre el primero y el segundo existen mínimas diferencias, como era de esperar.

Con el índice de productividad británico, que tiene presente el peso neto del lecho de fusión, se obtienen unos aumentos de 13%, 5%, 14%, 17% y 7% respectivamente en cada período, tomando como base 100 el del período de referencia. Prescindiendo del cuarto período, por considerarlo como período de transición, se encuentra que la mejor marcha es la del tercer período, encontrando en todos los períodos un considerable aumento en la producción específica del horno.

Se han representado en la figura 6. 13. los valores de los índices  $t.a./volumen$  útil obtenidos en el período de referencia y en los del ensayo, junto con los índices alcanzados por todos los hornos altos españoles durante el mejor mes de marcha del año 1970.

En el gráfico se ve claramente que los valores de los períodos primero, segundo y tercero son netamente superiores al valor máximo alcanzado por todos los demás hornos altos, lo cual indica el gran éxito alcanzado en la presente investigación.



Variación del Índice de Producción/Volumen Util en los periodos considerados

FIG. 6.13.

En la figura 6. 14. se representa la relación entre el consumo específico de coque y el peso neto del lecho de fusión en el período de referencia y en los del ensayo. Las ecuaciones  $200 + 0,2.B$  y  $325 + 0,11.B$ , de las dos rectas trazadas, representan las variaciones de los consumos específicos de coque con el peso neto de los lechos de fusión de los mejores hornos del mundo en 1962 y 1970 respectivamente.

Los consumos específicos de coque del horno en el que se realizó el ensayo oscilan entre 65 y 125Kg./t.a. más elevados, que los mejores de 1970, cuando se pasa de lechos de fusión netos de 1.700 a 2.300 Kg. Estos resultados son muy satisfactorios, en particular para lechos ricos de 1.700 Kg., teniendo en cuenta que la temperatura del viento soplado en el caso de los hornos representados por las líneas de la figura, estaba comprendida entre 900 y 1.000°C y que los hornos correspondientes a la línea  $325 + 0,11.B$  realizan inyecciones de combustibles auxiliares en toberas.

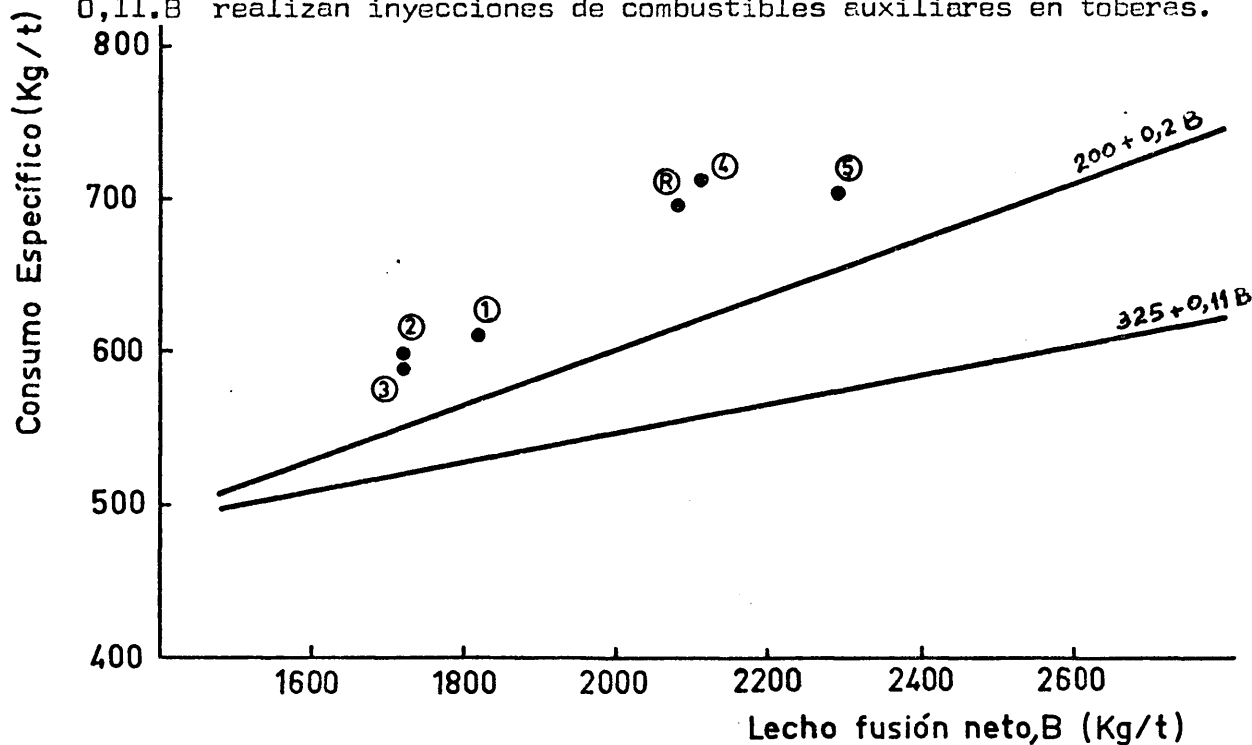


FIGURA 6. 14. Variación del consumo específico de coque con el lecho de fusión neto.

Se ve que solamente son 35 Kg. de coque la diferencia existente entre los consumos específicos de coque en las marchas de los períodos segundo y tercero y las mejores marchas mundiales sin inyecciones, recta del año 1962, pero con temperaturas de viento bastante superiores a las del ensayo.

Los tiempos de parada del horno es una medida en cierto modo indicadora de los inconvenientes que se han tenido que superar durante el ensayo. Todos ellos son achacables a causas ajenas a esta investigación y hubieran aumentado de no disponer de los elementos de control incorporados en el ensayo.

## 6. 2. CONTROL DEL ESTADO TERMICO DEL HORNO ALTO

El operador de horno alto utilizó hasta ahora, las principales características de los productos elaborados, para conocer el estado térmico del horno:

- Análisis de arrabio: contenido en Si y en S.
- Temperatura del arrabio y de la escoria.
- Aspecto físico del arrabio y escoria.

Al ser informaciones discontinuas al ritmo de las coladas, es necesario hacer extrapolaciones en función de los datos de la última colada, para poder prever la evolución del estado térmico del horno.

Actualmente por la preparación de la carga y el acondicionamiento del viento, se han conseguido importantes mejoras en la marcha, pudiendo mantener constantes durante largos períodos parámetros como el caudal de viento soplado. Mediante el análisis continuo del gas de tragante, se pueden determinar cuantitativamente balances, que permiten conocer un parámetro  $W_u$ , característico del estado térmico del horno y en función del resultado obtenido, realizar las modificaciones adecuadas en el acondicionamiento del viento, para mantener el parámetro  $W_u$  en un intervalo determinado.

En el presente ensayo, la regulación del estado térmico del horno alto se realizó dentro de ciertos límites, mediante



la inyección de vapor de agua, por carecer el horno de equipo de inyección de aceite pesado en toberas.

#### 6. 2. 1. Variaciones del parámetro Wu frente al % Si en el arrabio y otros parámetros

Los ensayos se realizaron con una carga formada por 60% de mineral sinterizado autofundente y un 40% de minerales crudos tratando de poder prejuzgar la validez del parámetro Wu, en una carga normal de los hornos altos españoles.

En una primera etapa fué necesario verificar la validez del modelo, comparando las características del arrabio, en especial el contenido en silicio, con las medias del parámetro Wu correspondiente al intervalo entre dos coladas (aproximadamente 3 horas). En esta primera etapa se ha delimitado el campo de validez del parámetro Wu para las condiciones operatorias del Horno nº 1 en regimen estacionario.

Es imposible, por limitación de espacio, comentar los numerosos resultados obtenidos durante los cuatro meses en que el horno funcionó bajo control y regulación, no obstante se señalarán los puntos mas importantes encontrados, que nos indican la validez del modelo utilizado.

El índice de producción, Pi, solamente es válido cuando:

- El regimen de intercambio de oxígeno en el horno alto es permanente, o sea cuando no se producen fenómenos de acumulación o evacuación del oxígeno unido al hierro, o bien, cuando estos fenómenos son lentos.
- Cuando el grado de oxidación y la reductibilidad de los minerales cargados en el horno varían poco.

Para que se cumpla la primera condición es necesario eliminar todas las causas que originen bruscas variaciones en las condiciones de intercambio de oxígeno entre la carga y el gas. En primer lugar es necesario evitar variaciones importantes en el volumen de soplado, ya que toda variación modifica el tiempo de residencia de los sólidos en el horno y modifica tambien el perfil térmico y el perfil de reducción de los óxidos de hierro en función de la altura, produciendo acumulaciones o evacuaciones del oxígeno unido al hierro en:

- El interior de la zona de preparación.
- El interior de la zona de elaboración dando lugar a un aumento en el consumo del carbono gasificado para regenerar el CO.

En segundo lugar se tratará de no modificar bruscamente la composición del gas reductor inicial soplado en toberas.

Se ha encontrado buena sincronización entre las va-

riaciones del parámetro Wu y el contenido en silicio del arrabio, siempre que se verifique que:

- El índice de basicidad de la escoria sea constante.  
Si varía el índice de basicidad de la escoria el %  
Si en el arrabio no es representativo del estado térmico, no pudiéndose comparar con el parámetro Wu. La actividad de la sílice varía sensiblemente en función de este índice sobre todo para valores cercanos a la unidad.
  
- El peso de la escoria por tonelada de arrabio es constante. Cuando el peso de la escoria varía, el parámetro Wu no es representativo del estado térmico, ya que la entalpía de los productos colados, referidos a la tonelada de arrabio, varía en el mismo sentido que el peso de la escoria.
  
- El caudal masico de viento soplado es constante.  
Si las variaciones del volumen de soplado son importantes, el análisis del gas de tregante da lugar a un cálculo erróneo del índice de producción, por producirse importantes acumulaciones o evacuaciones de oxígeno como antes se indicó.

En las figuras 6.15. a 6.18. se representa en función del tiempo, las variaciones de la composición del silicio en el arrabio y los valores del parámetro Wu medio, de colada a colada, correspondientes a tres días consecutivos de marcha en los meses de Febrero, Marzo, Abril y Mayo, existiendo buena concordancia entre las va

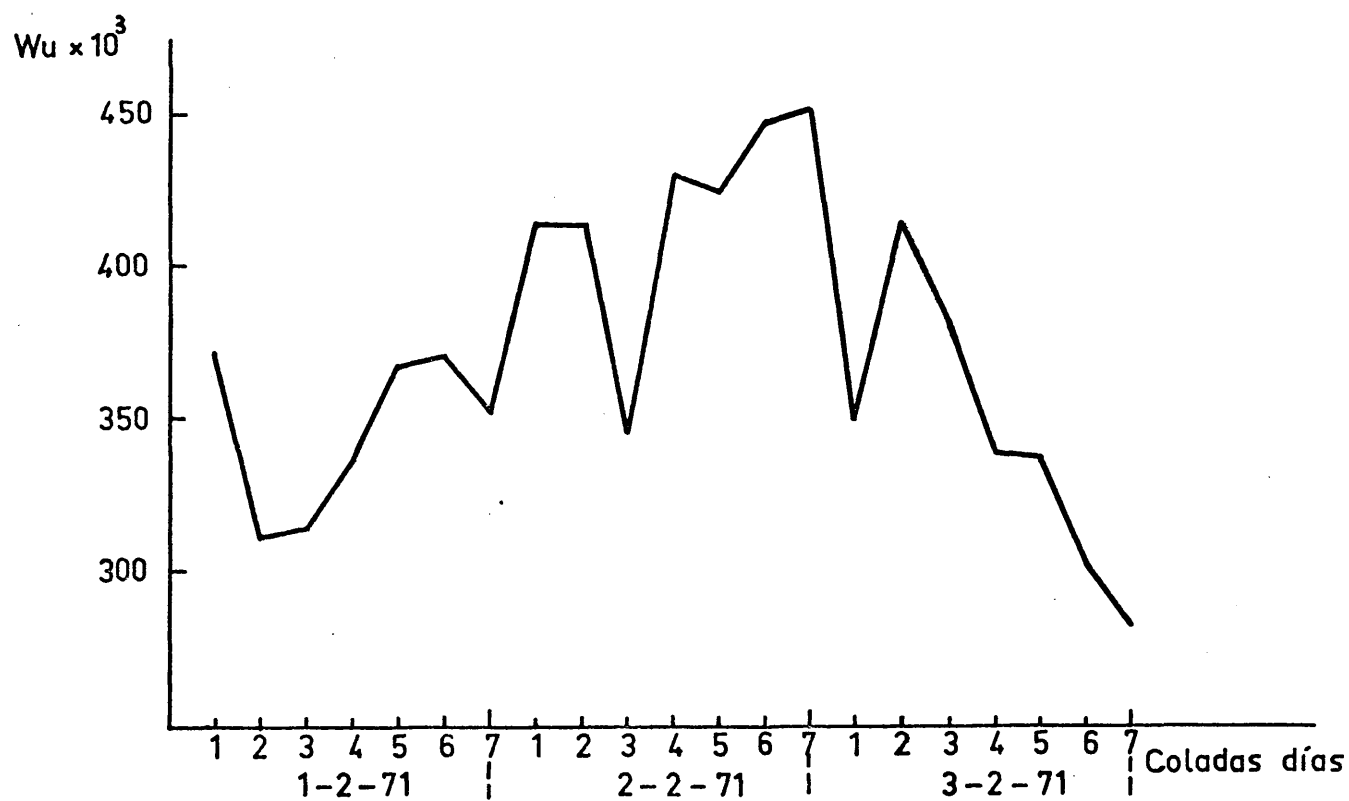
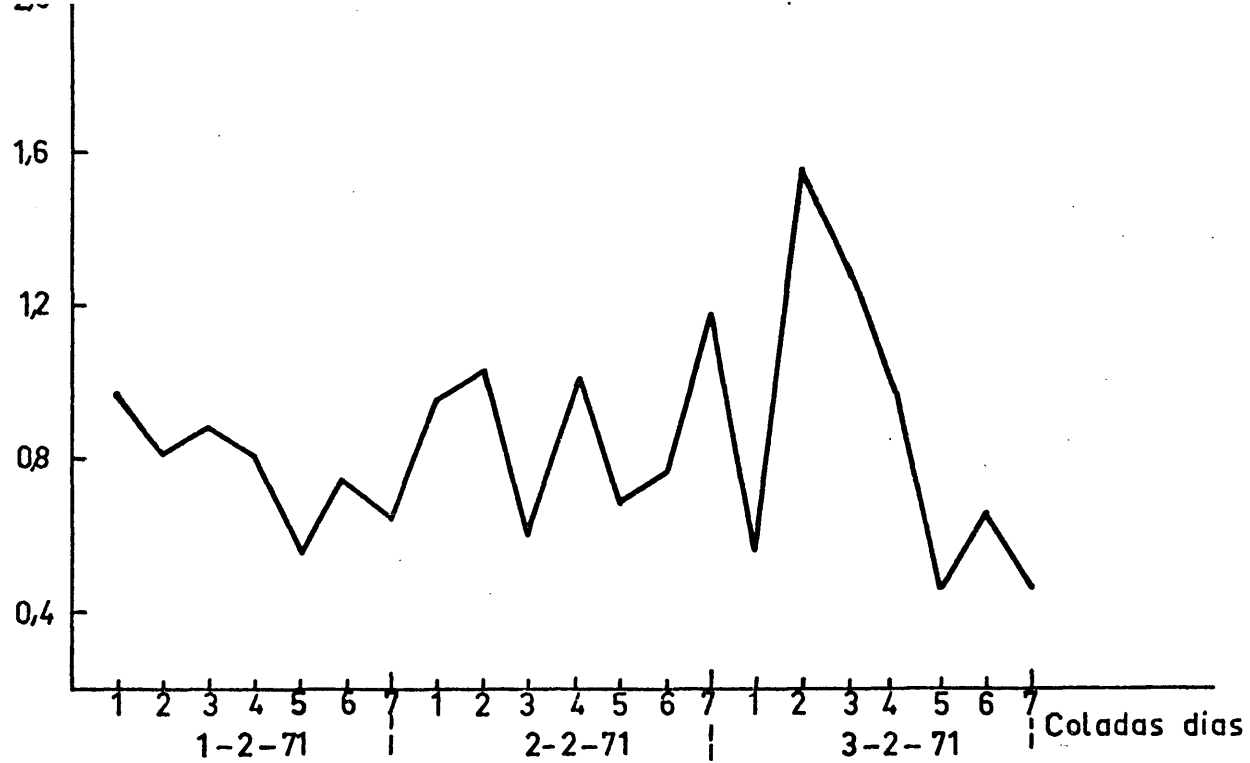


Figura 6.15.

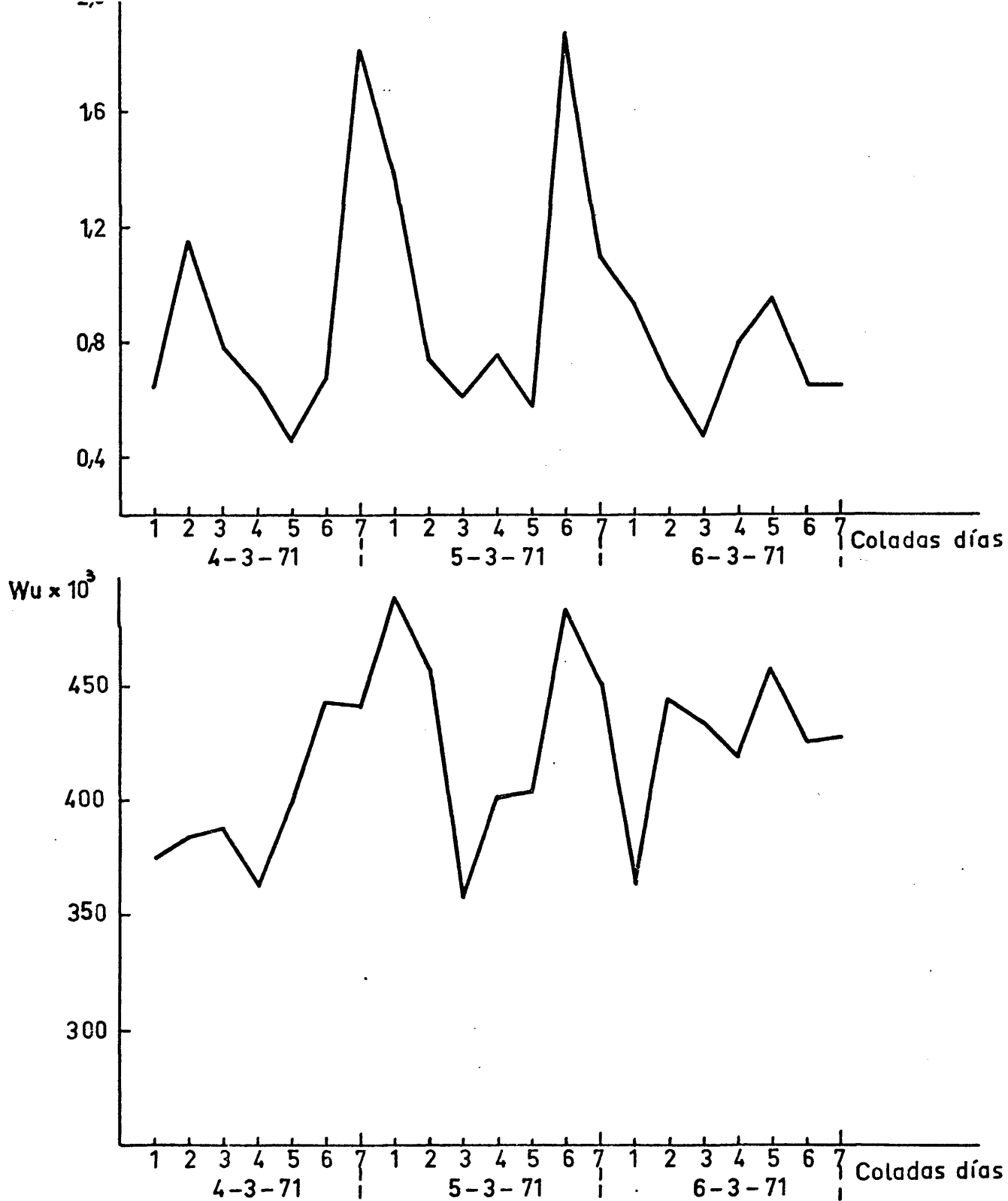


Figura 6.16.

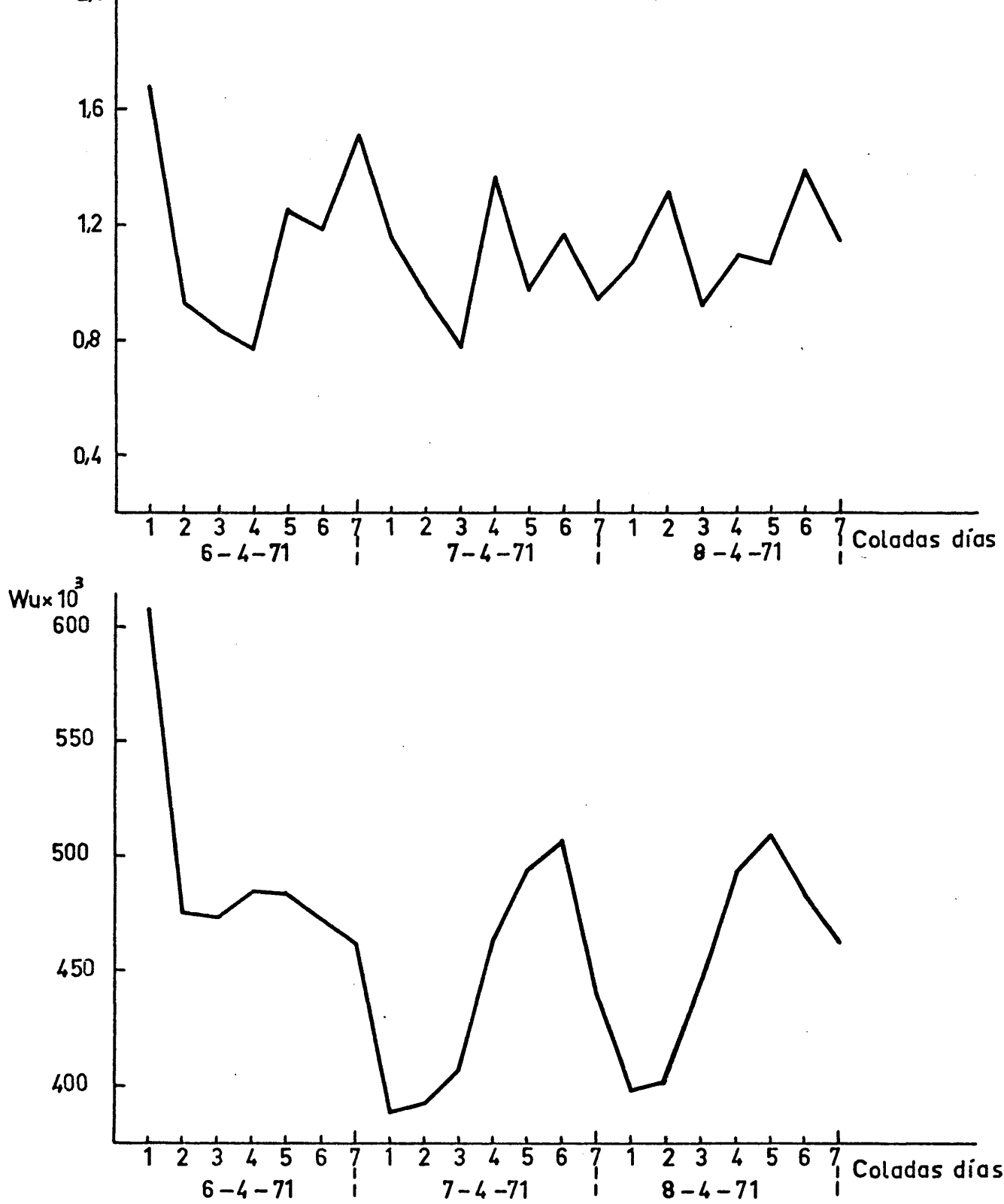


Figura 6.17.

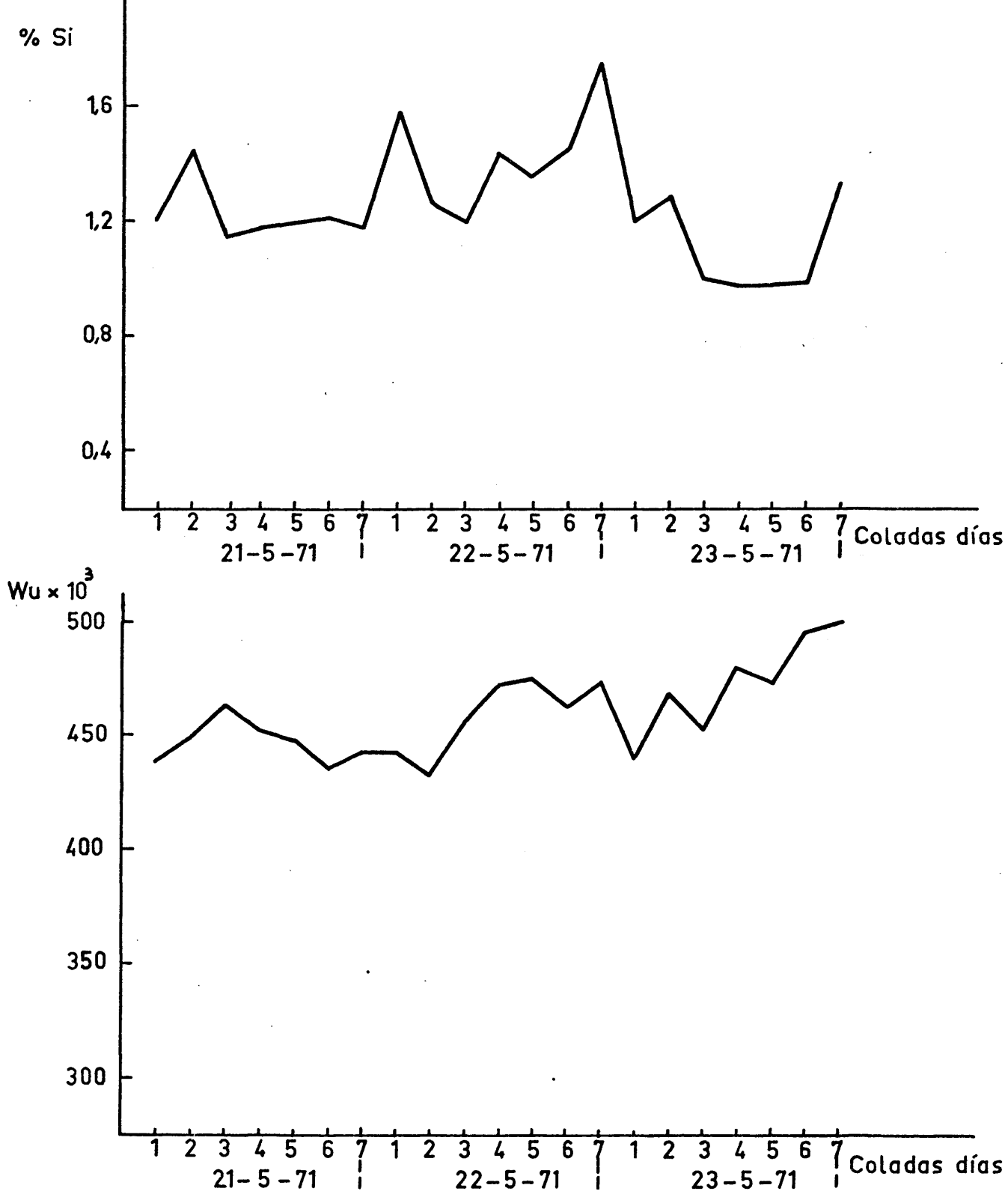


Figura 6.18.

riaciones de la calidad del arrabio y las variaciones del parámetro Wu, siempre que se cumplan las condiciones anteriormente exigidas, ya que entonces los fenómenos de acumulación producidos por los desajustes del horno son lo suficientemente lentos o débiles para que afecten sensiblemente a las medidas realizadas.

En las figuras 6.19. a 6.22. se encuentran representadas las variaciones, frente al tiempo, de los principales parámetros que intervienen en el cálculo de Wu, pudiendo comprobarse que todo aumento de  $N_2$  en el gas de tragante, va acompañado de un aumento en la cantidad de carbono quemado en toberas ( $C_T$ ) y por una disminución en el índice de producción, aumentando entonces el valor del parámetro Wu y el valor de la composición del silicio en el arrabio, comprobando la validez del modelo.

En la figura 6.22., correspondiente a tres días del tercer período del ensayo, se encuentra que las fluctuaciones de los parámetros que intervienen en los balances de materias y térmicos son menores que en otros períodos de marcha, haciéndose notar la influencia de los equipos de control en la marcha del horno alto.



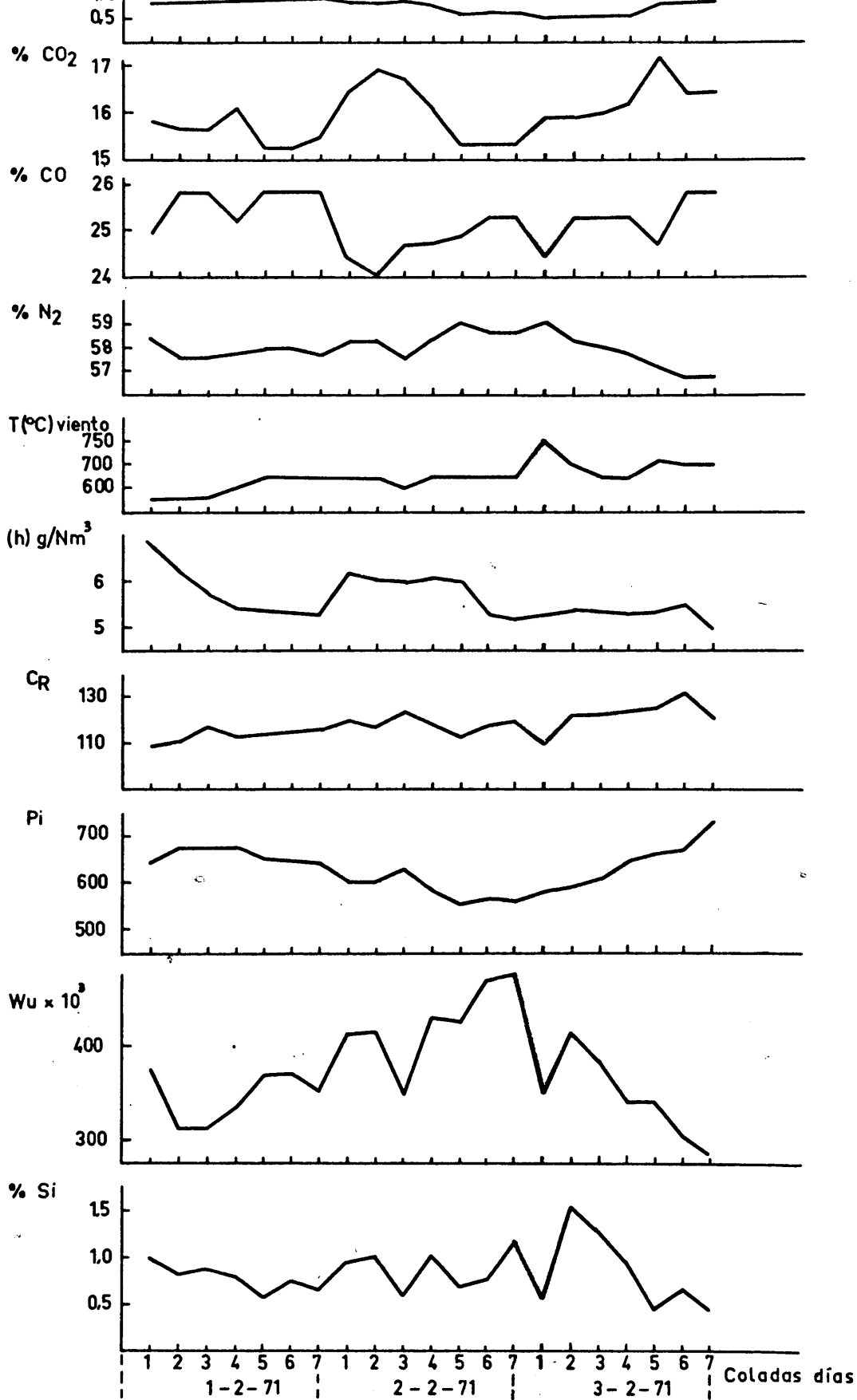


Figura 6.19.

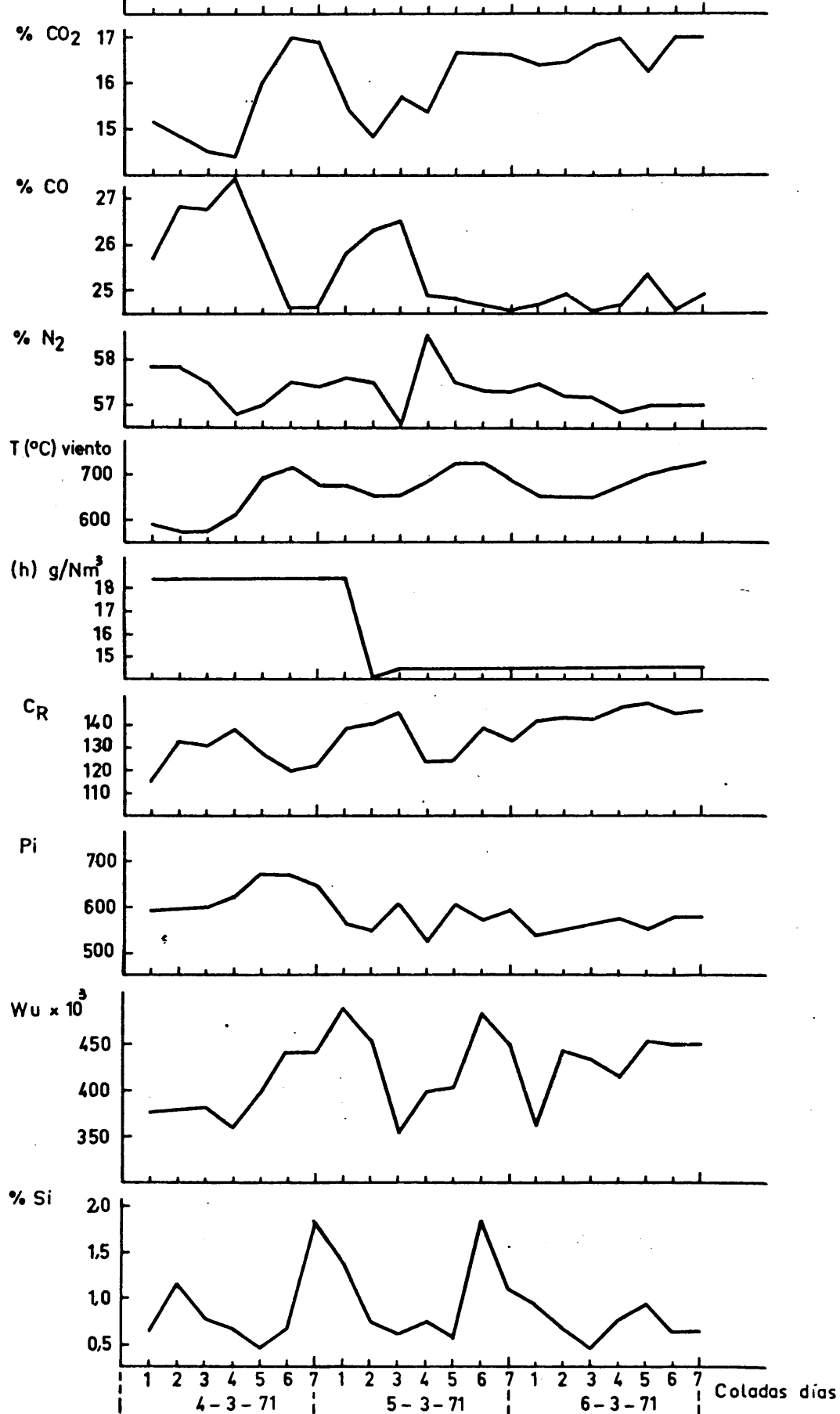


Figura 6.20



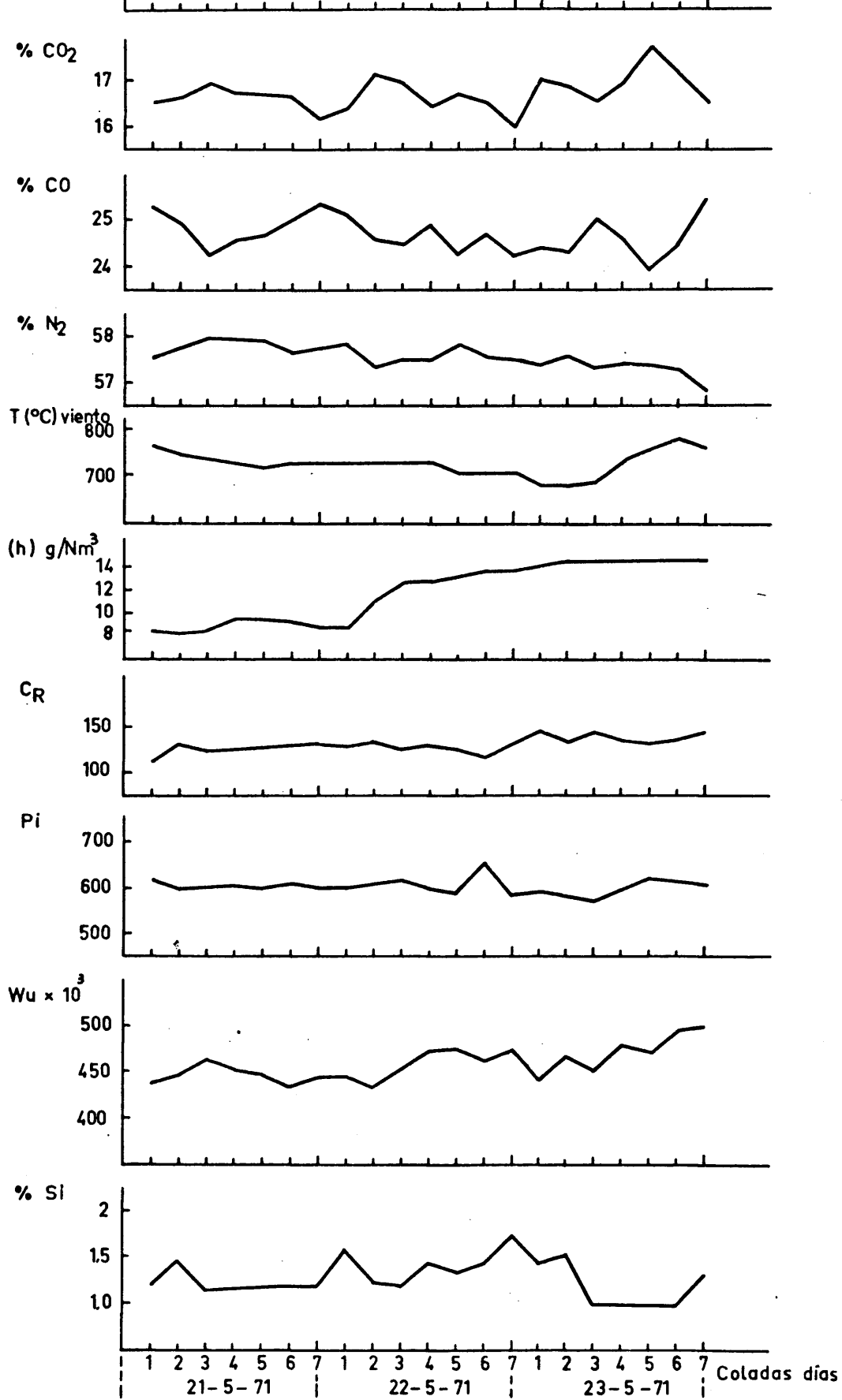


Figura 6.22.

### 6. 3. ESTUDIO TEORICO DEL COMPORTAMIENTO DINAMICO DEL HORNO ALTO

En este estudio se describen los fenómenos de transferencia de calor y de reducción en el horno alto, utilizando el esquema de funcionamiento en dos tiempos y el modelo matemático del I.R.S.I.D. Este modelo permite calcular un parámetro Wu a partir del análisis del gas de tragante, que se puede utilizar como un estimador de la calidad del arrabio.

Los regimenes permanentes son numerosos y se estudia el paso de uno a otro en presencia de diversas categorías de desajustes del proceso, que pueden estar producidas por perturbaciones o por variaciones de magnitudes de regulación. Se propone una interpretación del comportamiento dinámico del horno alto, mediante la descripción de fenómenos de acumulación, principalmente de carbono, de oxígeno y de transferencia de calor: la lentitud de estos mecanismos de reajuste interno explican la duración de los regimenes transitorios. La determinación teórica de estas acumulaciones es un problema difícil, sin embargo puede tenerse una respuesta cuantitativa mediante la aproximación experimental utilizando métodos generales de estudio de reactores.

#### 6. 3. 1. Funcionamiento del horno alto en regimen permanente

Considerando períodos largos de marcha, por lo menos de un mes, se puede descartar el carácter discontinuo de la

carga de los sólidos por el tragante y la descarga de líquidos al ritmo de las coladas, asociando a las características medias de marcha un esquema de funcionamiento en régimen permanente. El horno alto, por tanto, se puede considerar como un reactor en donde sus características son independientes del tiempo. Este reactor se puede considerar como un cambiador en contracorriente entre una fase gaseosa ascendente y fases sólidas o líquidas descendentes.

La figura 6. 23. indica un diagrama de las transferencias de calor y de masa entre la carga y el gas, representando esquemáticamente, en función de la altura a nivel del plano de toberas:

- Las variaciones de la temperatura de sólidos y gas.
- Los cambios en el grado de oxidación de la carga, representada por la relación O/Fe.

Se pueden distinguir tres zonas de intercambio:

- Una zona superior de intercambio térmico intenso.

A partir de una altura de dos metros del tragante, el coque, sinterizado y minerales, pasan de la temperatura ambiente a  $950^{\circ}\text{C}$ , mientras que la diferencia de temperatura entre gases y sólidos, máxi

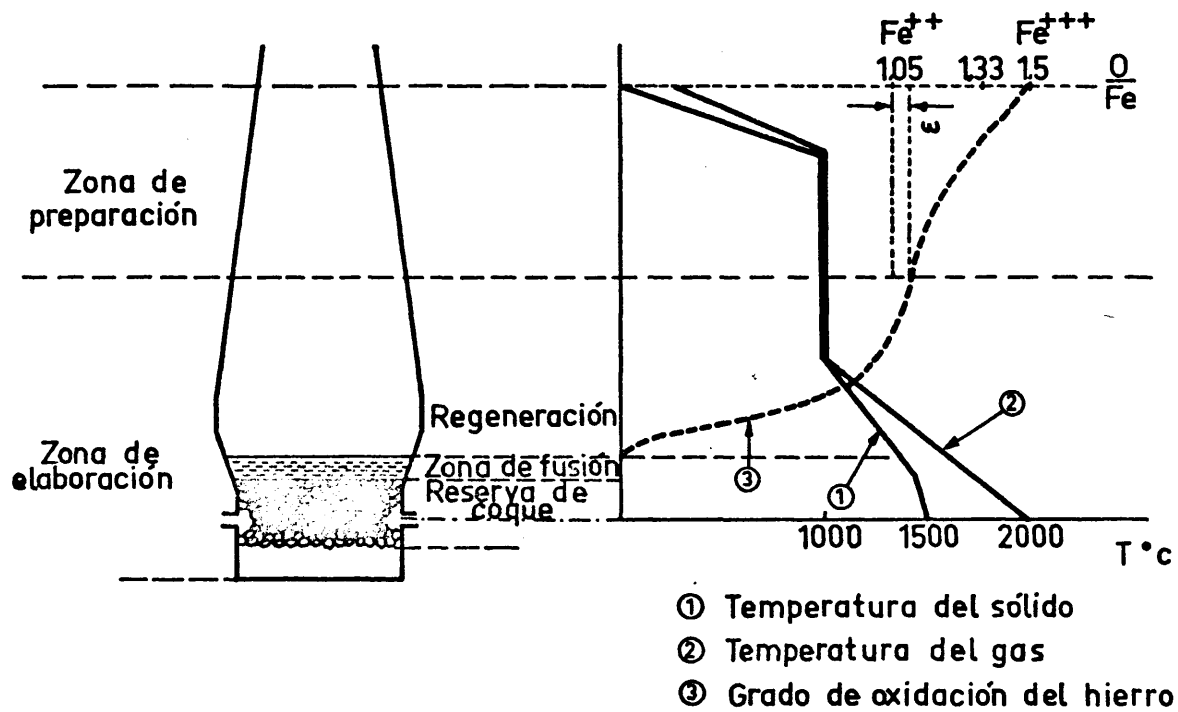


Fig. 6.23.- ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO IDEAL DEL HORNO ALTO

ma en el tragante, se anula rapidamente.

Los intercambios en esta zona son muy intensos, alcanzando un gradiente de temperatura de  $450^{\circ}\text{C}$  por metro. En esta zona, la capacidad calorífica de los sólidos es inferior a la del gas.

- Una zona intermedia sin intercambio térmico, zona de reserva térmica.

Es la zona de "reserva térmica", en el interior de la cual son iguales y constantes las temperaturas del gas y de los sólidos ( $950^{\circ}\text{C}$ ). En esta zona no hay intercambios de calor, no produciendo efectos térmicos notables las reacciones que tienen lugar en dicha zona, que son la reducción atermica de la hematites y de la magnetita por vía indirecta, es decir, por conversión del  $\text{CO}$  en  $\text{CO}_2$  y una parte de la reducción ligeramente exotérmica de la wüstita a hierro. El caso ideal de funcionamiento corresponde al agotamiento del potencial reductor del gas en un cierto nivel de la zona de reserva térmica: el equilibrio "hierro-wüstita-gas" a  $950^{\circ}\text{C}$  se alcanza y la fase gaseosa de este nivel tiene una composición tal que:

$$\frac{\text{CO}}{\text{CO} + \text{CO}_2} = 0,295; \quad \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2} = 0,390$$



valores deducidos por las curvas de equilibrio de Chaudron.

- Zona inferior de intensos intercambios de calor y de oxígeno.

Las variaciones de las temperaturas indican que la capacidad calorífica de los sólidos o líquidos pasa a ser muy superior a la del gas: este fenómeno se debe a la aparición y producción rápida de la reacción endotérmica de regeneración del óxido de carbono:



Esta reacción tiene un papel esencial:

- A causa de su fuerte energía de activación, la temperatura tiene gran influencia sobre su cinética: la temperatura a la que se produce, es precisamente la temperatura de la zona de reserva térmica, por lo tanto son las características del coque las que fijan el nivel de temperatura de la cuba.

Mediante esta reacción, se regenera el poder reductor del gas, permitiendo de esta forma una rápida reducción en fase sólida, de la wüstita a hierro, por medio del CO.

Mas abajo de esta "zona de regeneración", se produce la fusión de los materiales, apareciendo dos nuevas fases líquidas:

- El arrabio primario, que ha sido ya desfosforado y parcialmente carburado.
- La escoria primaria, debilmente oxidada.

Estos dos líquidos pasan a través de un lecho de coque, antes de alcanzar el crisol, en donde se efectúa la decantación del arrabio y de la escoria. Esta zona de reserva de coque, situada en la zona de toberas tiene gran importancia: es el soporte mecánico de la zona de fusión y de un cambiador líquido gas en contra corriente que realiza el calentamiento de los productos brutos de fusión:

- Calentamiento físico por aumento de la temperatura de los líquidos.
- Calentamiento químico por la incorporación de elementos termogenos al arrabio: en particular el silicio.

Esta descripción de los fenómenos nos indican que en caso de funcionamiento ideal, existe en la zona de reserva térmica un determinado nivel en donde la temperatura y la composición

de los sólidos y del gas, son comunes:

- Temperatura de sólidos y de gas:  $950^{\circ}\text{C}$

- Grado de oxidación del gas:

$$\frac{\text{CO}_2}{\text{CO}_2 + \text{CO}} = 0,295 \text{ y } \frac{\text{H}_2\text{O}}{\text{H}_2\text{O} + \text{H}_2} = 0,390$$

- Grado de oxidación de los sólidos:

$$\text{O/Fe} = 1,05, \text{ átomos O/átomo de Fe}$$

Una sección a este nivel permitirá definir un esquema de funcionamiento en dos tiempos, apareciendo entonces las llamadas "zona de preparación y "zona de elaboración".

- Zona de preparación

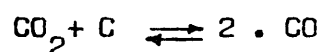
La zona de preparación, es la zona comprendida entre el tragante y la zona de reserva química y en ella el coque es químicamente inerte. Se puede considerar que recupera el potencial térmico y reductor del gas que la atraviesa, produciendo un lecho de fusión precalentado a  $950^{\circ}\text{C}$  y prereducido al estado de wüstita.

- Zona de elaboración

Está comprendida entre la base del crisol y la zona de reserva química, siendo la parte activa del horno alto, en donde se realizan las transferencias de masa (carbono y oxígeno) y de calor entre la carga y el gas. En esta zona los balances de mate-

rias y térmicos fijan su funcionamiento global, produciéndose las siguientes reacciones:

- Reacciones muy exotermicas: combustión en CO del coque por el viento caliente.
- Reacciones muy endotermicas, que corresponden al resto de los mecanismos de gasificación del carbono en CO: consiste principalmente en la reacción de regeneración del óxido de carbono que acompaña a la reducción de los óxidos de hierro.



Para un lecho de fusión y para un determinado arrabio los balances de carbono y oxígeno y los balances térmicos de la zona de elaboración, constituyen las ecuaciones del modelo matemático en regimen permanente del horno alto.

- La primera ecuación expresa el balance de oxígeno y de carbono en esta zona, haciendo intervenir el factor  $\omega$ , que mide el grado de prereducción realizado en la cuba.
- La segunda ecuación es la expresión del balance térmico de esta misma zona y en ella interviene el acondicionamiento del viento por su temperatura.

Por medio de este modelo matemático, es decir, con estas dos ecuaciones y las dos relaciones suplementarias, unidas a las características del viento y a las cantidades de carbono quemado en toberas, permiten por ejemplo, calcular la influencia del acondicionamiento del viento (humedad, temperatura, cantidad de fuel inyectado) y del trabajo de la cuba ( $\omega$ ) sobre el consumo específico. Además, en cada caso, los balances de oxígeno y térmico de la zona de elaboración, permiten calcular las características del gas de tragante: temperatura y análisis.

Para conocer la calidad del arrabio, se trata de representar el grado de calentamiento de los productos elaborados (arrabio y escoria) por un término del balance termico.

Considerando  $950^{\circ}\text{C}$  como temperatura de referencia para el cálculo de las entalpías, se puede escribir el balance en la zona de elaboración, poniendo los terminos energeticos en Kcal y refiriendolo a la tonelada de arrabio.

Aportes termicos: 1. Entalpia del gas de combustión en la zona de toberas.

Necesidades termicas:

2. Reducción indirecta de los óxidos por CO y  $\text{H}_2$ .
3. Regeneración del CO.
4. Wu

El punto 1, representa el aporte termico a nivel de toberas, que es función de la temperatura del viento y de la cantidad de carbono quemado referido a la unidad de producción. Este aporte de calor que representa la entalpia a  $950^{\circ}\text{C}$ , se cede en la zona de elaboración, distribuyendose entre los puntos 2, 3 y 4.

El punto 2, representa las cantidades de calor absorbidos por las reacciones de reducción indirecta de los óxidos de hierro en la zona de elaboración.

El punto 3, representa la cantidad de calor necesaria para regenerar el óxido de carbono del gas.

El punto 4, llamado Wu, es la energía disponible una vez satisfechas los puntos 2 y 3 y representa la cantidad de calor cedido al lecho de fusión en la zona de  $950^{\circ}\text{C}$  y representa globalmente:

- La entalpia de los productos colados (escoria y arrabio).
- La energía utilizada por las reacciones de reducción directas por los óxidos no ferrosos.
- La energía para la carburación del arrabio.
- Las pérdidas termicas.

Para un lecho de fusión determinado, el parámetro  $Wu$  es representativo del grado de calentamiento de los líquidos después de la fusión y por lo tanto de la calidad del arrabio. Se puede tomar al parámetro  $Wu$  como representativo del estado termico del horno alto.

Para conocer el valor del parámetro  $Wu$  es necesario conocer el análisis del gas de tragante, el acondicionamiento del viento y el grado de oxidación del lecho de fusión cargado por el tragante.

#### 6. 3. 2. Estudio de los regimenes permanentes posibles

Hasta ahora se ha considerado el funcionamiento del horno alto en regimen permanente, es decir, cuando todos los parámetros de marcha son constantes.

Ahora bien, para un horno alto, suponiendo fija la composición de la carga mineral, son posibles numerosos regimenes estables de funcionamiento, ya que para dos valores diferentes de una de las variables de entrada, le corresponden dos regimenes estables distintos, con la elaboración de dos arrabios de diferente composición. Por ejemplo, un aumento en la temperatura del viento supone un aumento de la entalpia del arrabio.

Se va a examinar mas detenidamente los diferentes regimenes posibles.

El funcionamiento del horno alto está caracterizado por el de la zona de elaboración y considerando esta zona como un sistema independiente caracterizado por lo que entra y por lo que sale y suponiendo para simplificar que la composición del lecho de fusión es fija, se tiene que las entradas son:

- Viento soplado en toberas, caracterizado por su acondicionamiento (temperatura, humedad y contenido de combustible auxiliar) y por su caudal.
- La carga sólida, caracterizada por la relación carbono-hierro(consumo específico) y del grado de oxidación del hierro (parámetro  $\omega$ :  $\text{FeO}_{1,05+\omega}$ ).

Las principales salidas son:

- Los productos líquidos, arrabio y escoria caracterizados por su entalpia.
- Los gases que salen de la zona de elaboración, caracterizados por su análisis.

Toda variación de uno de los parámetros de entrada supone una variación del regimen permanente y una variación en la salida. Recíprocamente, todo cambio producido en las salidas, indica que se ha producido por lo menos una variación en uno de los parámetros de entrada.



El deseo de todo operador de horno alto es conseguir un regimen permanente estable, en función de consideraciones económicas y técnicas con el fin de obtener un arrabio de calidad deseada, consiguiendose esto cuando todas las variables de entrada son constantes, sin embargo, es difícil controlar todas con precisión, dando lugar a derivas que son las causas de los desajustes termicos del horno alto. En la práctica, el horno alto no está realmente nunca en regimen permanente y su funcionamiento no es mas que una serie de desajustes mas o menos importantes, debidos a estas perturbaciones incontroladas. Existen entonces problemas de regulacion térmica y para obtener un arrabio de calidad homogenea, es necesario actuar sobre ciertas variables de entrada en donde el efecto termico deberá compensar el de los desajustes.

Para estudiar el problema de la regulación termica, se enumeraran los desajustes que pueden producirse y los diferentes parámetros de entrada sobre los cuales es posible actuar.

### Desajustes

Los hornos altos modernos poseen equipos adecuados para la regulación y el control de todas las variables que caracterizan el acondicionamiento del viento y por lo tanto pueden ser fijadas con precisión al nivel deseado por el operador. Las causas de los desajustes provienen por lo tanto de la carga sólida, es decir de las variaciones de los dos parámetros que la definen: contenido en carbono de la mezcla mineral y grado de oxidación del hie-

rro a la entrada en la zona de elaboración. Los desajustes se pueden clasificar en tres categorías:

#### A. Desajustes de primera categoría

Se producen por una variación en la relación carbono/hierro en la carga introducida. Las causas mas frecuentes de estos desajustes se deben a las derivas de las básculas de carga o bien a las variaciones incontroladas del contenido de carbono en el coque cargado (por ejemplo, variación de la humedad).

En el caso de un aumento en la relación carbono/hierro, el índice de producción  $P_i$  disminuye y el parámetro  $W_u$ , en talpia de los productos elaborados, aumenta: el horno alto se ca-  
lienta.

#### B. Desajustes de segunda categoría

Son debidos a una variación del grado de oxidación del hierro que entra en la zona de elaboración, es decir del parámetro  $\omega$ , ( $FeO_{1,05+\omega}$ ), en donde  $\omega$  representa el óxigeno en exceso con relación al estado de wüstita, a causa de un cambio en las condiciones de reducción en la zona de preparación, que son producidos bien por las variaciones de la reductibilidad de los minerales o bien por las modificaciones en el reparto de gases en la cuba del horno alto.

En el caso de una disminución de la reducción en

la cuba (aumento del %CO del gas de tragante), en el nuevo regimen permanente, el consumo específico de coque queda constante; para asegurar la reducción completa de los óxidos de hierro, la cantidad de carbono consumido por tonelada de arrabio por la reacción de regeneración aumenta, y por lo tanto la cantidad de carbono quemado en toberas disminuye. El índice de producción aumenta y el parámetro Wu disminuye: el horno alto se enfría.

### C. Desajustes de tercera categoría

Estos desajustes se producen por las variaciones simultáneas de la relación carbono/hierro y del parámetro  $\omega$ , pudiendo descomponerlos en dos desajustes, uno de primera categoría y otro de segunda.

Para contrarrestar estos desajustes y poder asegurar el control del estado térmico del horno alto, el operador dispone principalmente de los siguientes parámetros de regulación:

- Carga: relación coque/mineral
- Temperatura del viento
- Humedad del viento
- Inyección de fuel-oil en toberas.

Se estudia el efecto que tiene, sobre el estado térmico del horno alto en regimen permanente, una variación de los parámetros anteriores.

- Carga: Una variación en la relación coque/mineral de la carga, da lugar a un desajuste del tipo de primera categoría.

- Temperatura del viento: teniendo en cuenta el modelo matemático en régimen permanente, una variación de la temperatura del viento no tiene influencia en los balances de materia y por lo tanto el índice de producción  $P_i$  permanecerá constante.

Ahora bien en el nuevo régimen permanente, toda la energía suplementaria aportada por el viento, en el caso de un aumento de la temperatura, se traduce completamente en forma de entalpía de los productos elaborados. El parámetro  $W_u$  aumenta, el horno alto se calienta.

- Humedad del viento: Los principales efectos de la inyección de vapor de agua en el viento son:

- Descomposición endotérmica en toberas en presencia del coque:  $C + H_2O \rightarrow CO + H_2$ .

- Aporte de hidrógeno que participa en la reducción y disminuye en parte la reducción directa.

El principal efecto es la descomposición endotérmica en toberas y todo aumento de la humedad del viento implica una disminución del parámetro  $W_u$ , es decir, un enfriamiento del horno alto.

- Inyección de fuel-oil: un aumento en la inyección de fuel-oil da lugar a tres efectos:

- Un aumento en el aporte de carbono que incide en el consumo específico de coque.
- Un aporte de hidrógeno suplementario.
- Un aumento de la energía necesaria para el calentamiento y para el craking del fuel-oil.

El efecto mas importante es la aportación de carbono, que produce un desajuste de primera categoría. En regimen permanente, un aumento de la inyección de fuel-oil, da lugar a un aumento del parámetro Wu, es decir, un calentamiento del horno alto.

### 6. 3. 3. Estudio teórico de los regimenes transitorios

El modelo de funcionamiento en regimen permanente permite obtener todas las informaciones cuantitativas que caracterizan a los intervalos producidos entre dos regimenes permanentes inicial y final. El paso de un regimen a otro no es instantáneo y la experiencia enseña que los parámetros de salida caracterizan el funcionamiento del horno alto no por saltos bruscos, si no que varían de manera continua de su valor inicial al valor final. El paso de un regimen permanente a otro se efectúa por intermedio de

un regimen transitorio de una cierta duraci3n. El modelo matemático anteriormente citado no hace intervenir la variable tiempo, siendo la característica de un estado permanente el que todos los parámetros de marcha sean constantes. Este modelo no puede dar nunca una informaci3n sobre los períodos transitorios, la evoluci3n en funci3n del tiempo de diferentes variables de salida durante estos regimenes solamente puede ser conocida gracias al estudio del comportamiento dinámico del horno alto.

Para conseguir una correcta regulaci3n térmica del horno alto, es necesario conocer los fenómenos transitorios: cuando se efectúa una acci3n sobre una de las variables de regulaci3n es necesario conocer cual es el tiempo que se tarda en alcanzar el nuevo regimen permanente.

Tambien interesa conocer si durante estos regimenes los diferentes parámetros de marcha se encuentran ligados entre ellos por las ecuaciones establecidas para un regimen permanente. La validez de este modelo matemático es particularmente necesaria en el caso de la regulaci3n automática efectuada a partir del parámetro  $W_u$ . El calculo de este parámetro a partir del gas tragante solamente es representativo de la entalpia de los productos elaborados en el caso de que el modelo sea válido.

En los regimenes permanentes los balances de materias y energéticos se pueden escribir que: entradas = salidas.

Ahora bien, en los regimenes transitorios es posible el que haya acumulaciones de materias o de calor y los balan-

ces se escribirán:  $\text{entradas} = \text{salidas} + \text{acumulaciones}$ .

Es indispensable el estudio del comportamiento di  
námico del horno alto para responder a las dos siguientes pregun  
tas:

- ¿Es válido el modelo en regimen transitorio?.
- ¿Cual es el tiempo de respuesta del horno alto  
para alcanzar un nuevo regimen permanente, por  
una acción sobre las variables de entrada?.

Se empezará a estudiar cualitativamente los fenóme  
nos de acumulaciones que acompañan a los regimenes transitorios.

Son tres los tipos de acumulaciones que pueden te  
ner lugar en el horno alto: acumulaciones de carbono de oxígeno y  
de calor. Se estudian las causas que las producen y cual es su pa  
pel.

#### - Acumulación de carbono

El carbono se acumula en el interior del horno  
en la forma de coque. La zona de reserva del coque constituye un  
cambiador en contracorriente líquido-gas, en donde sus caracterís  
ticas (dimensiones geométricas, relaciones de caudales de líquido  
y de gas), fijan la entalpia de los productos elaborados. Este  
cambiador está limitado en su parte superior por la zona de fu  
sión y los eventuales desplazamientos de dicha zona, dan lugar a

variaciones en la altura de la zona de reserva, es decir, de acu-  
mulaciones o evacuaciones de coque en dicha zona.

Consideraremos el caso de un aumento en la relación carbono/hierro en la carga, por ejemplo en el caso de que la rela-  
ción entre el peso del coque y mineral contenidos en la cuba, au-  
menta.

Si aumenta la relación coque/mineral, se produce acumulación de coque en la cuba, produciéndose esta acumulación mientras que la carga ferrica permanezca sólida encima de la zona de fusión. Los balances de materias y térmicos en la zona de ela-  
boración no se modifican y el funcionamiento del horno alto perma-  
nece inalterado. Cuando la mezcla mas rica en coque alcanza la zo-  
na de fusión, la cantidad de materia a fundir y por tanto la in-  
tensidad de fusión, tiene tendencia a disminuir y para la misma can-  
tidad de calor aportado por el gas la cantidad de calor absorbidos por la fusión y por el calentamiento de los líquidos, tiende a dis-  
minuir. Para absorber la energía ascendente, el perfil termico se debe desplazar en el sentido de un aumento de temperaturas al mis-  
mo tiempo que la zona de fusión, entonces la reserva de coque se eleva en el horno. La disminucion en la intensidad de fusión trae consigo un aumento de la cantidad de gas reductor con relación al hierro; en consecuencia, el carbono consumido por las reacciones de regeneración disminuye, lo que acentúa el exceso de coque en la zona de fusión (figura 6. 24.)



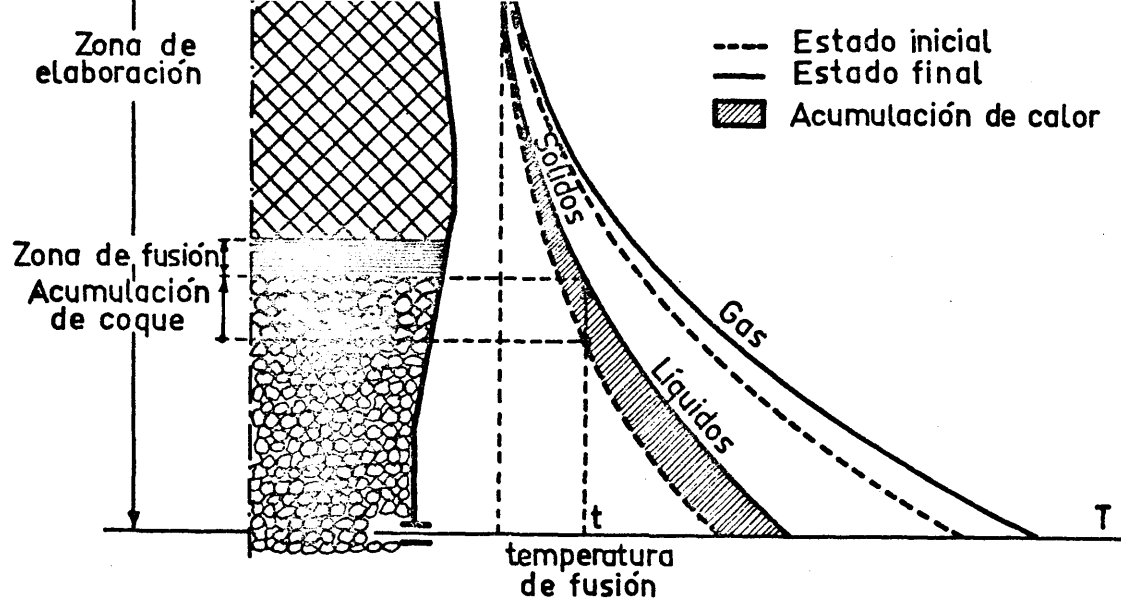


FIGURA 6. 24.

Estos fenómenos prosiguen hasta el establecimiento de un nuevo equilibrio que corresponde a un aumento de la energía absorbida por los líquidos por tonelada de hierro. Para una misma cantidad de gas reductor que procede de toberas, este aumento de energía absorbida se debe por una parte a la disminución del índice de producción  $P_i$  y por otra parte al aumento de la altura del cambiador formado por la reserva de coque. En este caso hay una acumulación de coque.

Con razonamientos análogos se ve que estas variaciones en la altura de la reserva de coque se producen igualmente en el caso de los desajustes de segunda categoría y por lo tanto por las variaciones de ciertos parámetros de regulación.

Un desajuste de 2ª categoría se acompaña de una modificación en el perfil térmico en la base del horno, de una

variación en el índice de producción  $P_i$  y de un ajuste de la altura de la reserva de coque.

Cuando la temperatura del viento soplado en toberas aumenta, la energía suplementaria aportada, es absorbida gracias a un aumento de la altura del cambiador líquido-gas.

Las variaciones de altura de la reserva de coque permite ajustar las dimensiones del cambiador líquido-gas de tal manera que la energía disponible para la elaboración de los productos líquidos sea efectivamente absorbida y esto es así hasta que un nuevo equilibrio puede ser alcanzado.

De una manera general, se puede decir que la zona de reserva de coque juega un papel estabilizador cuando los desajustes afectan el funcionamiento del horno alto: su altura aumenta en caso de un recalentamiento y disminuye en el caso de un enfriamiento, como se representa en la figura 6. 25.

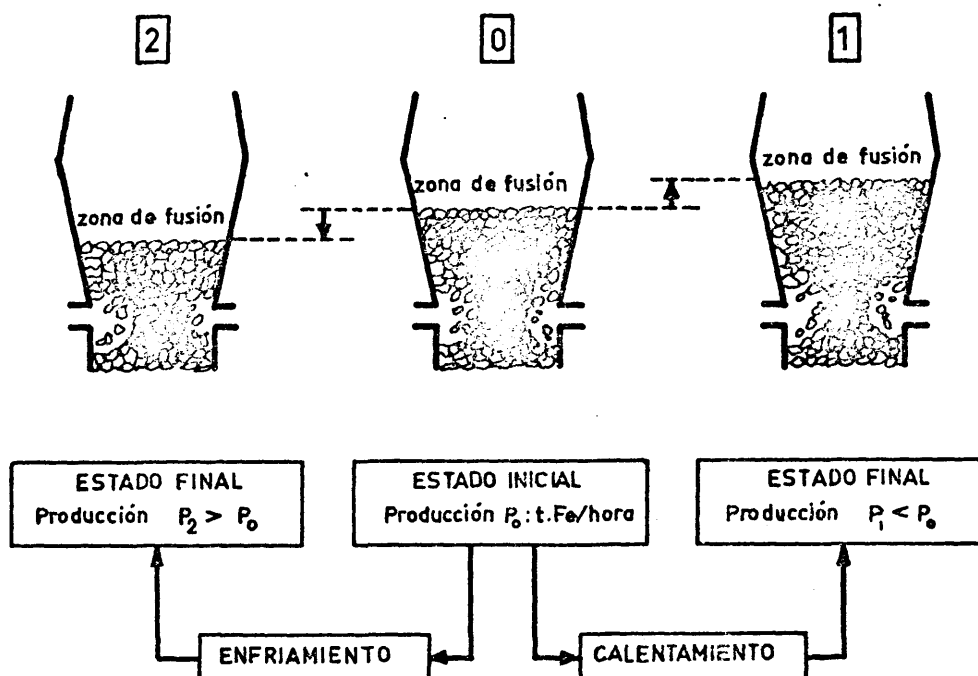


FIGURA 6. 25.

Este desplazamiento mecánico de la zona de fusión y las acumulaciones o evacuaciones de carbono que se producen, son la causa de la inercia del horno alto: mientras el carbón se acumula y la reserva de coque no alcanza su nivel final, el horno se encuentra en regimen transitorio y no se alcanza el regimen permanente final.

En el curso de una acumulación, la cantidad de carbono entrante en la zona de elaboración es superior a la cantidad de carbono saliente: en este caso el modelo matemático y en particular el cálculo del parámetro Wu representativo de la entalpia de los productos elaborados dan resultados satisfactorios. En efecto, en cada instante, el análisis del gas de tragante permite calcular las cantidades de carbon consumido por combustión en toberas y por regeneración y establecer de esta forma un balance térmico correcto de la zona de elaboración.

#### - Acumulación de oxígeno

Las acumulaciones de oxígeno, se producen en forma sólida con los óxidos de hierro. Cuando varía el perfil del grado de oxidación de los minerales hay acumulación o evacuación de oxígeno, produciendose bien en la zona de preparación, o bien en la zona de elaboración, siendo provocados por variaciones en las condiciones de reducción de los óxidos de hierro.

Estas acumulaciones contribuyen igualmente a la inercia del horno alto, de tal forma que mientras se producen

el horno está en régimen transitorio. Las acumulaciones de oxígeno se producen por las reacciones entre sólidos y un gas, sin desplazamiento mecánico como en el caso del coque y a temperaturas elevadas, a las cuales, la cinética de las reacciones de reducción es grande. Se puede pensar que a priori la inercia producida por estos fenómenos debe ser bastante pequeña.

El modelo matemático emplea un balance de oxígeno en la zona de elaboración para obtener las ecuaciones de funcionamiento y para el cálculo del índice de producción. El parámetro  $P_i$  calculado de esta forma a partir del análisis del gas de tragante, no es entonces representativo de la intensidad de producción real, mientras no se desprecien los términos de acumulación de oxígeno.

Estas acumulaciones o evacuaciones de oxígeno son particularmente importantes cuando el caudal de viento es variable entonces el cálculo del parámetro  $W_u$  a partir del gas del tragante no es válido y solamente lo será, en el caso de que el caudal de viento soplado se regule a un valor constante.

#### - Acumulaciones de calor

Toda modificación del perfil térmico del horno va acompañada de acumulación o evacuación de una parte de la energía acumulada en la forma de calor sensible de los productos.

Una acumulación o evacuación de calor en la zona de preparación afecta únicamente al calor sensible del gas dando

lugar a una variación en la temperatura del gas de tragante.

Cuando se produce una acumulación o evacuación de calor en la zona de elaboración, repercute únicamente en esta zona en la forma de entalpia de los productos elaborados.

El tiempo necesario para que los materiales alcancen en cada nivel una temperatura mas elevada, depende principalmente de los intercambios de calor entre sólidos, líquidos y gas y de la conductibilidad de los sólidos y líquidos. Como los niveles de temperatura en esta zona son elevados, los intercambios de calor son intensos y rápidos. Se puede pensar que estos no son fenómenos que retardan las modificaciones del perfil térmico, si no que mas bien, los desplazamientos de la zona de fusión.

Estos terminos de acumulación de calor intervienen en el balance térmico de la zona de elaboración, entonces las ecuaciones del modelo matemático no son válidas en regimenes transitorios, solamente lo serán cuando estas acumulaciones o evacuaciones sean despreciables.

#### - Conclusiones

Recordando que cuando se produce una modificación del perfil térmico en zonas bajas del horno, por ejemplo el aumento de la temperatura, se deduce que se produce una acumulación de calor, un aumento en la reserva de coque y una variación del perfil del grado de oxidación del hierro contenido en la carga mine-

ral. Las acumulaciones de calor, oxígeno y carbono en la zona de elaboración, están unidas y se producen simultáneamente a lo largo de todos los regimenes transitorios.

Se han estudiado para cada tipo de acumulaciones los dos aspectos: inercia del horno, es decir, tiempo necesario para alcanzar el nuevo regimen permanente y validez del modelo matemático.

Se destaca la particular importancia de la zona de reserva de coque, que juega un papel estabilizador y permite por sus variaciones de altura, alcanzar un nuevo equilibrio. Los desplazamientos de la masa de coque son la causa de la inercia del horno y el tiempo necesario para alcanzar un nuevo regimen permanente depende en gran manera de dichos desplazamientos. Es necesario tambien señalar que estos mecanismos de acumulación de calor y de coque dependen de los caudales por unidad de sección de las fases líquidas y gaseosas que se encuentra en contracorriente.

Como se ha visto, el volumen de la cuba no tiene influencia sobre estos fenómenos y el tiempo de retención de los sólidos en el horno, solamente interviene en la inercia del sistema para un retraso de las variables unidas a las materias cargadas en el tragante. Por el contrario, el caudal de viento, que por una parte fija el caudal de gas por unidad de sección, juega un papel esencial: para cualquier desarreglo, la velocidad de acumulación del coque y por lo tanto, la inercia del horno alto, se puede considerar proporcional al caudal del viento.

Los fenómenos de acumulación de carbono aseguran la validez del modelo matemático, siempre que por medio del gas de tragante se conozca continuamente la cantidad de carbono gasificado. Sin embargo, las acumulaciones de oxígeno y de calor ponen en entredicho las ecuaciones del modelo matemático, ya el calculo del parámetro Wu a partir del gas de tragante solamente es representativo de la entalpia de los productos elaborados, cuando los fenómenos de acumulación son despreciables, es decir, cuando son suficientemente lentos o débiles durante los regimenes transitorios.

Por lo tanto, el problema de la regulación térmica del horno, necesita el conocimiento de la variación con el tiempo de los diferentes parámetros de marcha durante los regimenes transitorios, es decir, es necesario conocer datos mas cuantitativos sobre el comportamiento dinámico del horno alto.

Es necesario conocer la evolución de la reserva de coque, para calcular su incremento con relación a su nivel de equilibrio y el tiempo necesario para su estabilización. Siendo  $H(t)$  la altura de la reserva de coque en función del tiempo  $t$ , tendrá una posición estable si

$$\frac{dH(t)}{dt} = 0$$

El balance de oxígeno en regimen transitorio, se debe escribir de la siguiente forma:

$$\text{Caudal de } O_2 \text{ que entra} = \text{Caudal de } O_2 \text{ que sale} + \frac{d O_2(t)}{dt}$$

en donde,  $O_2(t)$  es una función del tiempo que representa la cantidad de oxígeno unido a los óxidos metálicos contenidos en el horno alto.

Para calcular en cada instante la entalpia de los productos elaborados, el balance térmico será el siguiente:

Energía absorbida por los productos elaborados = Energía aportada por el viento caliente o producida por las reacciones químicas +

$$\frac{d Q(t)}{dt}$$

$Q(t)$  es la cantidad total de energía almacenada en la zona de elaboración en la forma de calor sensible de los productos.

Para ser completo el estudio teórico del comportamiento dinámico del horno alto se debe llegar al cálculo de las funciones  $H(t)$ ,  $O_2(t)$  y  $Q(t)$  o por lo menos de sus derivadas. Para la determinación de estas funciones, es necesario indicar mediante ecuaciones, todos los mecanismos que se producen en la zona de elaboración. En particular es necesario representar en ecuaciones la evolución de la zona de fusión y de los intercambios líquido-gas en la reserva de coque. El estudio teórico se limita a darnos informaciones cualitativas y solamente la experimentación suministrará información mas precisa de los procesos.



## 7. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos en la presente investigación, se deducen las siguientes conclusiones:

1. El cortado del coque ha resultado un sistema eficaz para su estabilización y para disminuir la heterogeneidad de tamaños. Cuando se corta a 30-75 mm. no hay variación en el rendimiento metalúrgico de la batería. Al cortar a 20-65 mm., el rendimiento de la batería aumenta en un 4%, por la menor producción de finos y por el aprovechamiento de la fracción granulométrica 20-30 mm.

El costo de la operación de cortado ha resultado ser de 8,50 Ptas./t.coque cortado, cantidad inferior al que resulta mediante la utilización de otras técnicas de preparación-estabilización.

El cortado del coque da lugar a sensibles mejoras en sus características mecánicas, como lo demuestran los índices obtenidos en los ensayos MICUM e IRSID.

Las propiedades químicas del coque cortado sufren mejoras como lo demuestra su comportamiento en el horno alto, al modificar posiblemente su reactividad.

2. El consumo específico de coque ha experimentado una disminución del orden de 100 Kg. coque/t.a. con respecto a las condiciones normales de marcha en el período de referencia. En los tres períodos de marcha los consumos de coque resultaron ser: 619, 597 y 598 Kg. coque/t.a.

La significación económica de la disminución de 100 Kg. coque/t.a., a nivel de producción del horno y en las condiciones económicas del ensayo, supone un ahorro de 110.000 Pts./día.

3. En el primer período del ensayo se obtuvo un aumento en la producción de un 22% con respecto al período de referencia. En este período disminuyó el consumo de coque en 84 Kg. coque/t.a., lo que representa un 12% de disminución. La regularidad de marcha debida al control y a la preparación del lecho de fusión se traduce en una calidad de arrabio de composición muy uniforme y desconocida hasta la fecha en la factoría, como lo acreditan sus contenidos medios en Si y S de 1,03% y 0,037% en lugar de 1,22% y 0,065% respectivamente en el período de referencia y unas desviaciones típicas de  $\pm 0,3096\%$  y  $\pm 0,0186\%$ , que son inferiores a la mitad de las correspondientes al período de referencia.

En el segundo período se mantuvo el aumento de la producción en un 22%, disminuyendo el consumo específico de coque en 106 Kg. coque/t.a. con respecto al período de referencia, lo que supone un ahorro de un 15%. La calidad del arrabio, durante el segundo período, estimada por los contenidos en Si y en S, ha resultado ser de 0,99% y 0,029% respectivamente, con desviaciones tí

picas de  $\pm 0,3472\%$  y  $\pm 0,02296\%$ , con menor uniformidad a la conseguida en el primer período por el accidente de marcha producido.

En el tercer período, como consecuencia de las modificaciones efectuadas en los ciclos de carga, se consiguieron los más altos valores en las producciones, alcanzando un aumento de un  $32\%$  sobre el período de referencia, manteniéndose los consumos de coque con un  $15\%$  de disminución sobre dicho período. La calidad del arrabio fué sin duda ninguna la mejor de todos los períodos del ensayo, lo que lo demuestra en que el número de coladas con un Si comprendido entre  $0,6\%$  y  $1,1\%$  fué del  $66\%$  con una composición media de  $1,01\%$  y una desviación típica de  $\pm 0,2729$  y respecto al S se encontraron que el  $92\%$  de las coladas estaban comprendidas entre  $0,010\%$  y  $0,040\%$ , con un análisis medio de  $0,024\%$  y desviación típica de  $\pm 0,01015\%$ .

4. Los controles incorporados al horno para el ensayo han actuado positivamente en todos los períodos de marcha, proporcionando al operador información rápida y precisa sobre los parámetros fundamentales de la marcha del horno alto.

La calidad del arrabio, determinada mediante el conocimiento de su temperatura y composición en silicio, fué una de las variables esenciales proporcionadas al operador con gran rapidez. Se encontraron limitaciones para contenidos de Mn y Si superiores a  $1,5\%$  y  $2\%$ , respectivamente. La variación del silicio a lo largo de la colada resultó ser en el primer período de un aumento relativo de un  $4\%$  en la primera mitad de la colada y de un aumento

relativo de un 2% de la mitad al final de la colada. Tanto en el segundo como en el tercer período, las variaciones del silicio son iguales en los dos intervalos citados de la colada.

El control de la composición continua del gas de tragante ha resultado ser el indicador mas sensible y rápido de cualquier estado transitorio o alteración en las condiciones de operación del horno, como fuga de agua en toberas o cajas de refrigeración, "cuelgues" de la carga, malas condiciones de reducción, etc., permitiendo al operador realizar las actuaciones mas convenientes con el fin de restablecer las condiciones estacionarias de la marcha del horno.

El control de composición de la escoria por medio de la técnica de espectrofotometría de absorción atómica ha proporcionado buenos resultados, sobre todo por su rapidez con respecto a las técnicas clásicas por vía química, permitiendo efectuar ajustes adecuados en la adición de fundentes para conseguir una escoria de composición prefijada y compensar así las modificaciones en la ganga del mineral. La rapidez en el conocimiento de composición ha permitido utilizar un índice de basicidad relativamente ácido.

La operación de las sondas de la cuba, determinó la selección del ciclo de cargas y su cambio de secuencias, lo que dió lugar a un aumento en la permeabilidad del horno.

5. Se ha comprobado la validez del modelo matemático del IRSID, encontrandose que el parámetro  $W_u$  es representativo

de la calidad física y química del arrabio, pudiendo tomarse como un indicador técnicamente válido del estado térmico del horno alto, siempre que se mantenga constante el volumen de viento soplado y el volumen de escoria.

Se ha visto que el acondicionamiento del viento mediante la inyección de vapor de agua, es el método mas sensible a disposición del operador para regular el estado térmico del horno.

Los valores del parámetro Wu han tenido un ámbito de variación progresivamente menor, a medida que transcurre el tiempo de operación del horno bajo los controles incorporados.

## 8. RECOMENDACIONES

Como consecuencia de este estudio se recomienda:

1. No limitar el tiempo en trabajos de investigación como el presente.
2. Es esencial la continuación de este tipo de investigaciones para que tengan incidencia real y positiva en todo el campo siderúrgico español.
3. Es necesario disponer de un horno alto en el que se pueda experimentar y probar instrumentos y sistemas de control, incorporando las técnicas más avanzadas.
4. En la selección de un horno alto para realizar un futuro programa de investigación industrial, será necesario tener en cuenta, además de las características de la unidad de producción, las posibilidades de mejora que admiten sus instalaciones auxiliares, con el fin de poder utilizar un ordenador, que por medio de un modelo matemático y con los datos recibidos, controle y regule la marcha del horno.

## 9. APENDICES

### 9. 1. DESCRIPCION DEL HORNO ALTO Nº 1 Y EQUIPOS ACCESORIOS

#### 9. 1. 1. Características del Horno Alto Nº 1

Las principales características estructurales del Horno Nº 1, son las que se indican a continuación:

Diámetro del crisol.....	4,09 m.
" " vientre.....	5,20 m.
" " tragante.....	3,88 m.
Altura del crisol.....	2,45 m.
" de los etalajes.....	2,72 m.
" del vientre.....	2,00 m.
" de la cuba.....	8,67 m.
Volumen útil.....	247,28 m. <sup>3</sup>
Superficie del crisol.....	13,2 m. <sup>2</sup>
Número de toberas.....	8
Diámetro de toberas.....	130 mm.
Tragante tipo.....	Doble campana
Soplante tipo.....	Turbosoplante
- Régimen máximo.....	48.000 N.m <sup>3</sup> /h y 1,23 Kg./cm <sup>2</sup>
- Régimen normal.....	37.000 N.m <sup>3</sup> /h y 0,55 Kg./cm <sup>2</sup>

Estufas, nº..... 2

- Temperatura de cúpula.....  $1.000^{\circ}\text{C}$
- Temperatura máxima.....  $1.300^{\circ}\text{C}$
- Temperatura efectiva.....  $1.050^{\circ}\text{C}$

Refrigeración:

- En la cuba..... 88 cajas y exterior
- En etalajes..... 20 petaces y exterior
- En el crisol..... Exterior

El Horno se encendió, después de su reconstrucción, en Setiembre de 1968.

#### 9. 1. 2. Acondicionamiento del viento

Con el fin de disponer de un parámetro de respuesta rápida, mediante el cual se pudiera actuar sobre el estado térmico del crisol del Horno Alto y por lo tanto sobre el % del silicio en el arrabio, se realizó la instalación, montaje y puesta a punto de un sistema automático de inyección de vapor de agua, en la tubería de viento frío, que permite regular la humedad del viento hasta un valor de  $30 \text{ gr./N.m}^3$ .

Desde un punto de vista físico (44), la regulación de la humedad del viento soplado, tiene gran importancia por su acción a nivel de toberas. Una variación brusca en el viento soplado, provoca dos efectos contrarios:



- Un rápido enfriamiento en la zona inferior del Horno, por la disociación del vapor de agua. Esta reacción da lugar por una parte a una disminución en la temperatura adiabática de la llama y por otra, a un aumento en el contenido en oxígeno del viento soplado, lo que supone un aumento en la producción.
- Un calentamiento retardado, inferior en su efecto al enfriamiento anterior, por la llegada de minerales mejor preparados a la zona de elaboración, a causa del aumento del poder reductor del gas y/o a una mejor distribución en el reparto del gas en la cuba.

El equipo de inyección de vapor instalado, consta de los siguientes elementos:

#### Cámara toma de muestras

En la cámara toma de muestras, se realiza el análisis continuo de la humedad total del viento soplado, encontrándose situada la toma de muestra a una distancia del punto de inyección igual a veinte veces el diámetro de la tubería de viento frío, procedente de la turbosoplante, con el fin de conseguir una perfecta y homogénea mezcla del vapor y del viento.

El caudal de muestra que entra en la cámara de medida es de 30 l/h, eliminándose el resto mediante una purga. La cámara de análisis se encuentra termostatzada a 40°C, y el análisis de la humedad se realiza mediante una célula de Clli, por medio de la determinación de la temperatura de rocío, enviando una señal eléctrica al controlador regulador, situado en la Cabina de Control.

#### Controlador, regulador y registrador electrónico

El equipo regulador, controlador y registrador, se encuentra situado en la Cabina de Control.

La unidad de control, tipo posición de equilibrio, situada en el regulador, mide las diferencias entre las posiciones del valor deseado y la señal de la variable medida, generando una señal en función de la diferencia, por medio de aire comprimido entre 0,21 y 1,05 Kg./cm<sup>2</sup>.

El regulador, al recibir la señal eléctrica enviada por la célula de Clli, la analiza y envía una señal automática de apertura o cierre, según que dicho análisis dé un valor superior o inferior al punto de consigna, a una válvula neumática, equipada con posicionador, que regula el paso del vapor inyectado.

### Inyección de vapor

La inyección de vapor se realiza en la tubería de viento frío, mediante una tubería injertada y situada sobre el eje de la tubería de viento frío en sentido contrario a la dirección del viento, con el fin de conseguir una mezcla homogénea.

El caudal máximo de inyección de vapor posible con la instalación descrita es de 1,2 t/h ó 30 gr./N.m<sup>3</sup>, para un caudal de viento de 40.000 N.m<sup>3</sup>/h.

El caudal de vapor inyectado se regula mediante una válvula neumática, accionada desde la Cabina de Control.

En la figura 9. 1. , se encuentra un diagrama del equipo instalado, para el acondicionamiento del viento.

En la figura 9. 2. , se encuentra el ábaco que correlaciona la temperatura de soplado, humedad total y la temperatura de soplado efectiva.

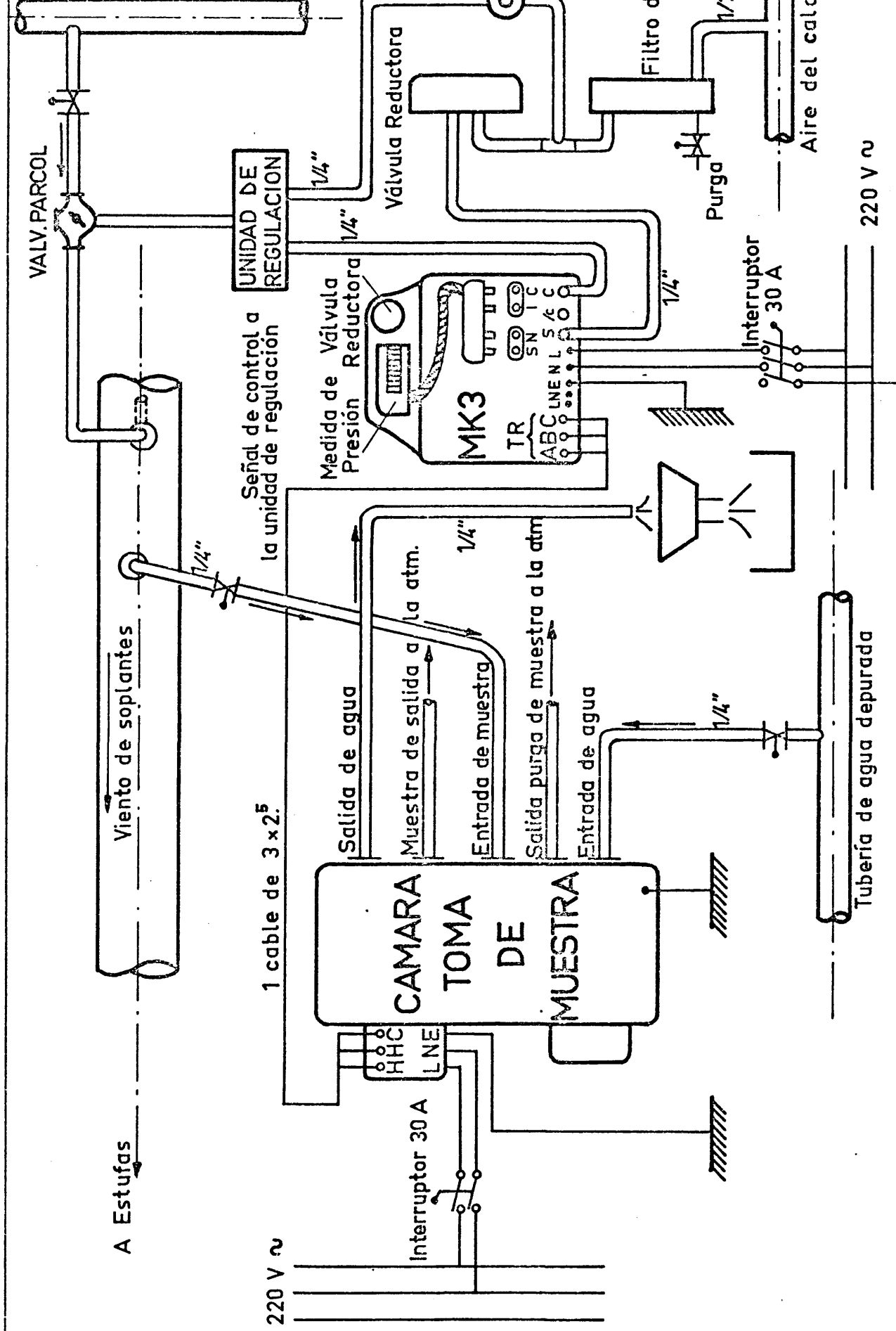


DIAGRAMA DE LA INSTALACION DE INYECCION DE VAPOR DE AGUA

FIG.9.1.

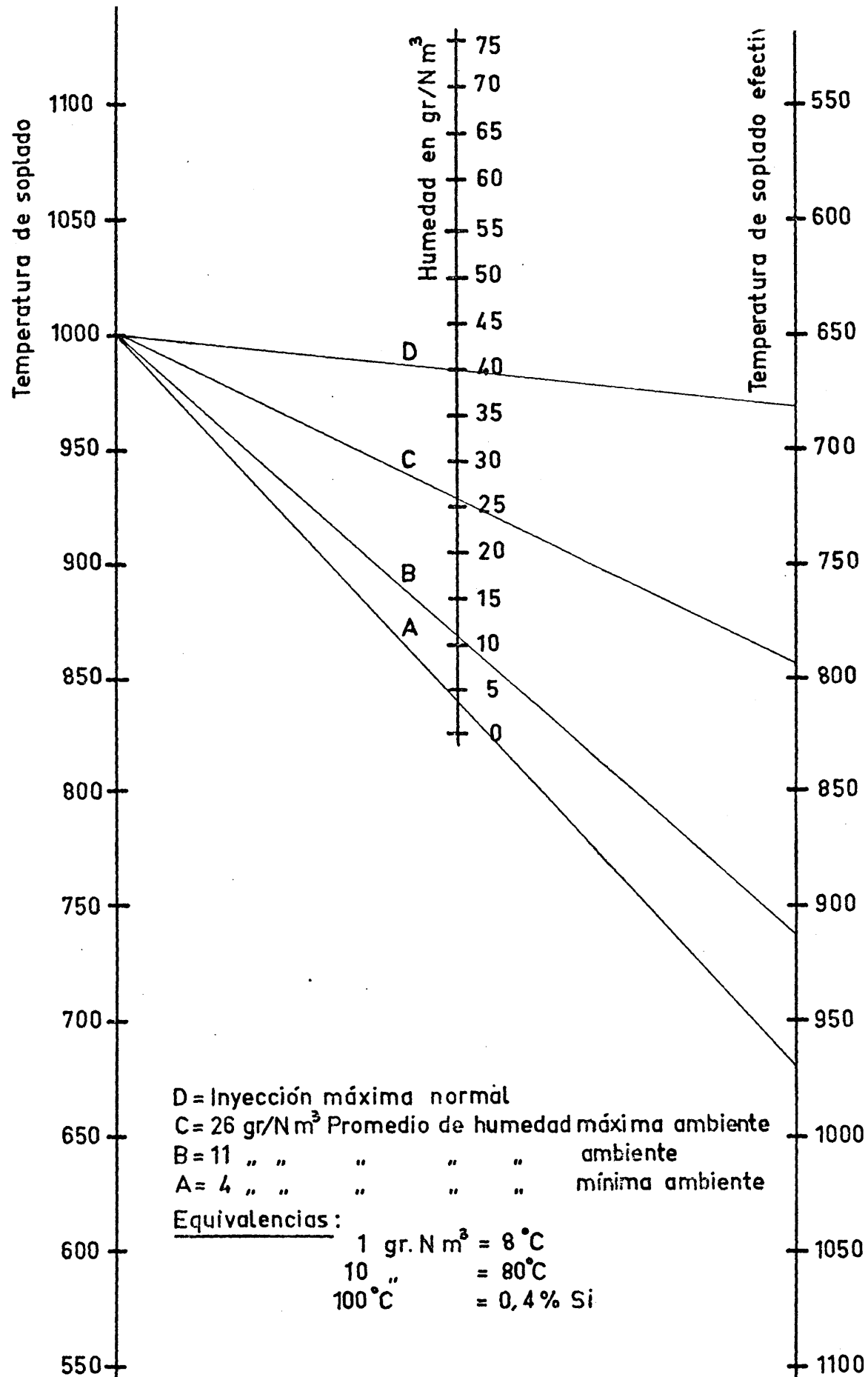


Fig.9.2 .- Abaco para correlacionar la temperatura de soplado, humedad y temperatura de soplado efectiva.

### 9. 1. 3. Equipo para el análisis continuo del gas de tragante

La toma de muestras del gas de tragante, se realiza después de la depureción primaria e la salida del colector de polvos, mediante dos sondas provistas de filtros cerámicos, con una porosidad de  $60\mu$  y con calefacción eléctrica interna. El gas es aspirado a través de los filtros cerámicos, encontrándose éstos a una temperatura superior al punto de rocío, evitándose de esta forma que condense el vapor de agua y por tanto, la obstrucción de las sondas.

La conducción del gas desde las sondas hasta los equipos analizadores, se realiza mediante una tubería de cobre de 10 mm. de diámetro interior, debidamente calorifugada. Para realizar la limpieza y purga de las sondas y conducciones, se instaló un sistema automático por medio de un programador, que acciona a una serie de electroválvulas, para dar entrada a nitrógeno o aire comprimido.

El gas de tragante al llegar a la Cabina de Control y Regulación, impulsado mediante un grupo compresor de un caudal de aspiración de  $2\text{ m}^3/\text{h}$ , pasa a un primer armario, en donde se elimina el polvo mediante filtros cerámicos, a  $100^{\circ}\text{C}$  de temperatura. Un manómetro de contacto para depresiones, situado en la línea de aspiración de bomba, señala la obstrucción de la sonda, haciendo entrar en servicio al segundo equipo de reserva, con el fin de que llegue sin interrupción el gas a los analizadores.

En la figura 9. 3. , aparece un diagrama del armario de purificación y acondicionamiento del gas de tragente.

A continuación se elimina el vapor de agua que le acompaña, enfriando el gas a una temperatura inferior al punto de rocío, haciéndole pasar a través de un refrigerante especial que se encuentra a  $+2^{\circ}\text{C}$  de temperatura. El condensado se descarga cada hora, por medio de un programador que hace actuar a una serie de válvulas magnéticas.

El gas depurado pasa a un segundo armario en el que se realiza la limpieza, secado fino y distribución a cada uno de los analizadores, regulando su caudal mediante unos precisos caudalímetros. El armario de control, tiene las unidades de recalibración, unidades de corrección, lámparas de alarma y el registrador gráfico. En el diagrama de la figura 9. 4. , se representa esquemáticamente el conjunto de la instelección.

La mayor parte del gas aspirado se envía al exterior mediante un caudalímetro, pasando el resto por tres conducciones con un caudal aproximado de 50 l/h, a través de las vál-vulas AV y los filtros de membrana F. Mediante una serie de válvulas magnéticas, se envía a los analizadores el gas a medir y los gases para el punto cero y el punto máximo, según las condiciones de operación.

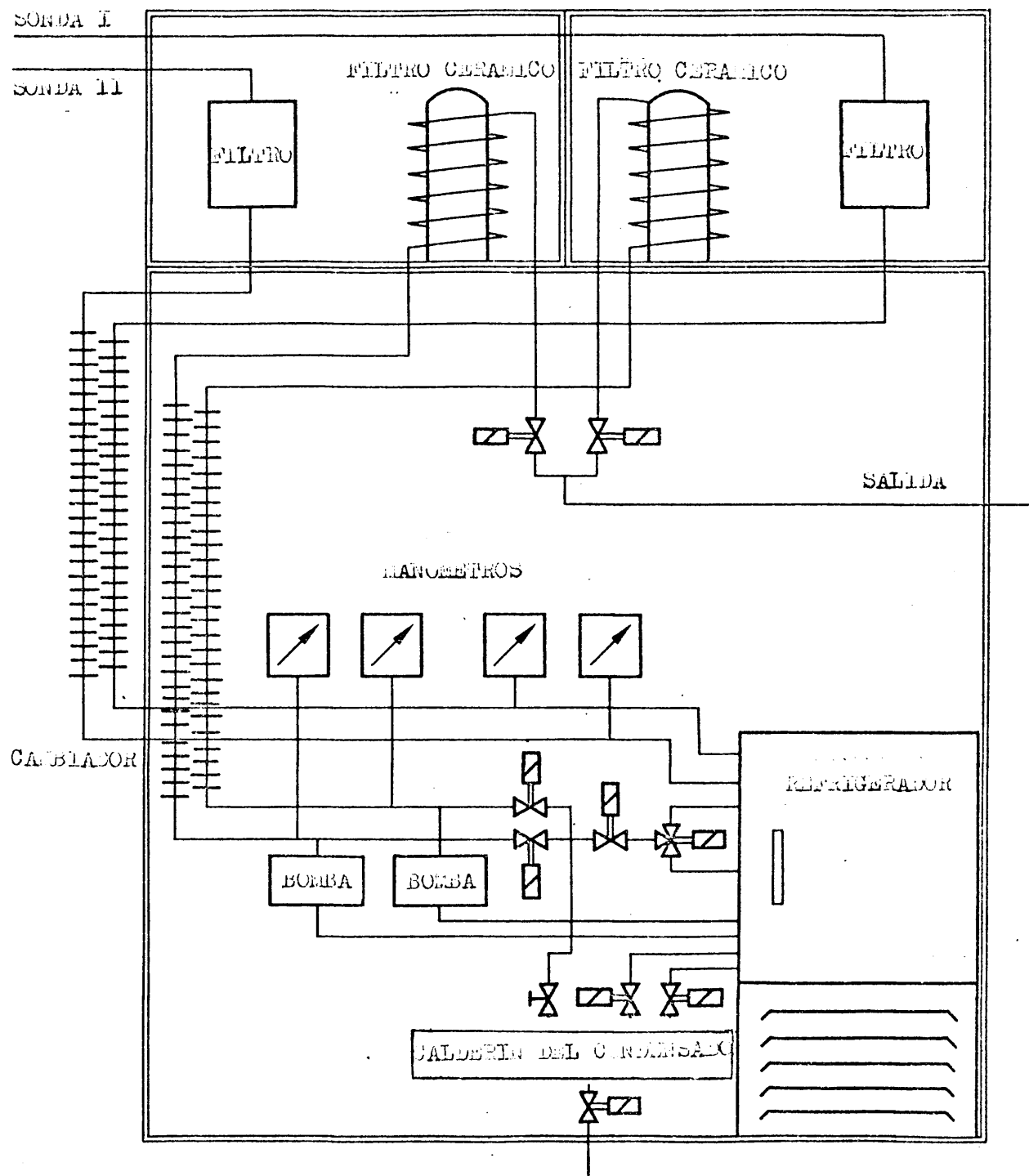
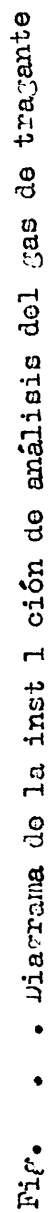


Fig. 9. 3. Diagrama de acondicionamiento y purificación del gas de tragante





En el refrigerante EC, se enfría el gas del tragente a una temperatura constante de  $2^{\circ}\text{C} \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ , eliminándose periódicamente el condensado a través de la purga D. Los gases patrones pasan también por un refrigerante con el fin de humidificarse y evitar errores en su análisis. El gas se envía por tres conducciones paralelas a los analizadores:

Analizador  $A_1$ : 0..... 20%  $\text{CO}_2$

Analizador  $A_2$ : 0..... 5%  $\text{H}_2$

Analizador  $A_3$ : 20..... 40%  $\text{CO}$

Los rotámetros  $S_3$ , con controladores R, de presión diferencial, regulan el caudal del gas a un caudal de 50 l/h,  $\pm 5\%$ , con variaciones de presión de entrada comprendidas entre 250 y 10.000 mm.  $\text{H}_2\text{O}$ , disponiendo además de alarmas ópticas de máximo y mínimo, para fluctuaciones en el caudal.

Los analizadores  $A_1$  y  $A_3$ , se purgen continuamente con  $\text{N}_2$ , con el fin de evitar que el gas del tragente produzca una mezcla explosiva con el aire, regulando su paso a través de dos rotámetros  $S_2$ .

El análisis del contenido de hidrógeno se realiza mediante un analizador  $A_2$ , de conductividad térmica, alimentado por una fuente de corriente constante, consiguiendo de esta forma que la estabilidad de la indicación y la reproductibi

lidad de la variable solamente dependa del gas a medir. Según los principios de medida de los analizadores de conductividad térmica, solamente pueden analizar como máximo una mezcla de dos gases, sin embargo, como el gas del tragante tiene por lo menos cuatro componentes, es necesario eliminar la influencia de los gases que interfieren. El principal error lo produce el  $\text{CO}_2$ , por tanto el analizador  $A_1$  para  $\text{CO}_2$ , emite una señal eléctrica proporcional a este componente, con el fin de corregir el error de medida en el analizador de  $\text{H}_2$ . Además, como la influencia del  $\text{CO}_2$  no es lineal, la señal de corrección, ha de adaptarse de acuerdo con las variaciones producidas.

La pequeña influencia que produce el gas  $\text{CO}$ , se corrige por medio de una fuente de tensión constante, consiguiendo reducir el error a la mitad de su valor. La señal de salida del analizador de  $\text{H}_2$ , se amplifica a 20 m.A. y lineariza en un transductor de milivoltios. Para este analizador no es necesario el ajuste automático de los puntos cero y máximo, ya que la medida varía solamente en caso de contaminación. Sin embargo, es conveniente realizar periódicamente el ajuste, siendo necesario desconectar durante la operación la señal corregida del analizador de  $\text{CO}_2$  y la fuente de tensión constante.

El análisis de los componentes  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$  del gas de tragante, se realiza mediante dos analizadores infrarrojos. Al cabo del tiempo, los analizadores presentan un error de deriva considerable, pudiendo eliminarse mediante el calibrado periódico de los puntos máximo y mínimo. Durante este ajuste se

compara el valor actual con los valores de los gases de ajuste por el potenciómetro. La presión del aire influye en el resultado de la medida, corrigiendo este error, para medidas que empiezan en cero, mediante una cápsula barométrica con salida potenciométrica y para los analizadores con supresión de valores iniciales, el error proporcional se corrige mediante una segunda cápsula barométrica situada en el analizador. En cada transductor con balance automático  $C_1$  y  $C_2$  se amplifican las señales eléctricas de ambos analizadores a 20 m.A., con linearización y corrección de presión. Un segundo amplificador con aislamiento galvánico de salida, permite la recogida de los valores de medida con un potenciómetro secundario durante el proceso de calibrado.

El armario de los analizadores se encuentra a  $35 \pm 1^\circ\text{C}$ , situado en la Cabina de Control climatizada a  $20 \pm 3^\circ\text{C}$ .

Se realiza periódicamente el ajuste de los analizadores por medio de gases patrones, realizando los equipos de recalibración los ajustes necesarios en el punto cero y el punto máximo. Son necesarias seis botellas de gases patrones para los tres componentes del gas de tragante. Cada ciclo de calibrado automático dura 5 minutos, utilizando caudales de 50 l/h para cada uno de los gases patrones.

#### 9. 1. 4. Equipo para la determinación rápida del Si en el arrabio

Con el fin de conocer rapidamente la composición del silicio en el arrabio, fué preciso la instalación y puesta a punto del equipo STRÖHLEIN, que proporciona la respuesta en un tiempo eproximado de 20 minutos a partir de iniciada la colada, con una precisión del orden de  $\pm 0,25\%$ . A continuación se realiza una breve descripción del equipo y de la técnica operativa.

##### Fundamento de la medida

Al poner en contacto dos metales, se crea una tensión termoeléctrica; esta fuerza electromotriz depende de la diferencia de temperaturas entre la soldadura fría y caliente y de la naturaleza de los metales empleados. Utilizando dos metales, perfectamente conocidos y manteniendo constante la diferencia de temperatura, entre la soldadura caliente y fría, la fuerza termoeléctrica depende de la naturaleza de los metales y siendo uno de ellos siempre el mismo, variará en función de la composición del otro.

El silicio es el elemento en el cual este fenómeno es más importante, siendo su efecto superior en 30 ó 40 veces, con respecto a los elementos que entran a formar parte en el arrabio. Por tanto, en las aleaciones de Fe-Si, el sili-

cio puede determinarse mediante medidas termoeléctricas, con la condición de que la variación de la composición de los otros elementos y la estructura física del hierro solidificado sea pequeña.

### Descripción del equipo

El equipo está formado esencialmente por los siguientes elementos:

- Un termostato, con un termómetro de regulación manual, con el fin de mantener una temperatura constante en uno de los dos contactos de cobre. El otro contacto de cobre, se mantiene a una temperatura constante, haciendo pasar a su través un determinado caudal de agua.
- Un milivoltímetro transistorizado, con un amplificador de gran precisión. La tensión de medida es amplificada, dando una indicación mediante un instrumento de bobina móvil. La precisión de la medida es de  $0,5\% \pm 0,5 \text{ m.V.}$
- Un aparato en el cual se encuentran aislados los dos contactos de cobre mantenidos a diferentes temperaturas, dispuestos de tal forma que faciliten la colocación de la viruta de la

muestra a analizar, de forma que mediante una ligera presión sobre el contacto móvil se comprime la muestra y se producen una serie de puntos de unión, que da un valor medio representativo de la f.e.m.

#### Variables que afectan a la medida

Además de la composición de los elementos que forman la muestra, tiene gran importancia en la medida, su estructura microscópica.

Las medidas son reproducibles con cualquiera de los dos tipos de estructura siguientes:

- Fundición gris, perlita con grafito homogéneamente distribuido, con poca ferrita y exente de cementita primaria, martensita y ledeburita.
- Fundición blanca, ledeburita, sin grafito primario, martensita ni perlita.

Los finos en la muestra, dan lugar a resultados por bajo del valor real, posiblemente debido a su mayor riqueza en carbono.

## Ventajas e inconvenientes

La primera ventaja es poder realizar la medida sobre una superficie relativamente grande de virutas, lo cual da lugar a resultados representativos.

La segunda ventaja la constituye la buena regulación del calentamiento mediante un termostato de 500 W., con potencia suficiente.

La tercera ventaja es su gran sensibilidad y rapidez de medida.

Los principales inconvenientes encontrados son los siguientes:

- La regulación del termostato no es automática.
- La temperatura del agua varía en función del caudal.
- Se producen condensaciones en tiempo húmedo sobre el electrodo frío.
- La circulación de la parafina en el termostato es lenta, dando lugar al cabo de 2 ó 3 meses, a depósitos carbonosos procedentes de la descomposición de la parafina, por contacto con la resistencia.



## Descripción de la operación de medida

Alcanzado el termostato la temperatura de trabajo, se regula con el fin de que el microvoltímetro dé una indicación exacta de 4,25 m.v. Esto significa que la diferencia de temperaturas entre ambos cuerpos de contacto ha alcanzado los 100°C. En este momento se realiza la compensación a cero con los potenciómetros, estando el aparato listo para funcionar.

Sobre el cuerpo de contacto inferior se depositan las virutas procedentes de la probeta, apretando entonces los dos cuerpos de contacto. La indicación de la aguja del microvoltímetro, da una determinada medida en m.v., la cual transportada a la curva de calibrado m.v. - % Si, da la composición del Si en el arrabio, mediante una corrección previa en función del contenido en manganeso.

En la figura 9. 5. y 9. 6. se encuentra el ábaco de corrección para los diferentes contenidos en manganeso y la curva de calibrado m.v. - % Si.

### 9. 1. 5. Determinación de la temperatura del arrabio

Uno de los parámetros que el operador de horno alto necesita conocer con rapidez y exactitud al realizar la colada, es, la temperatura del arrabio.

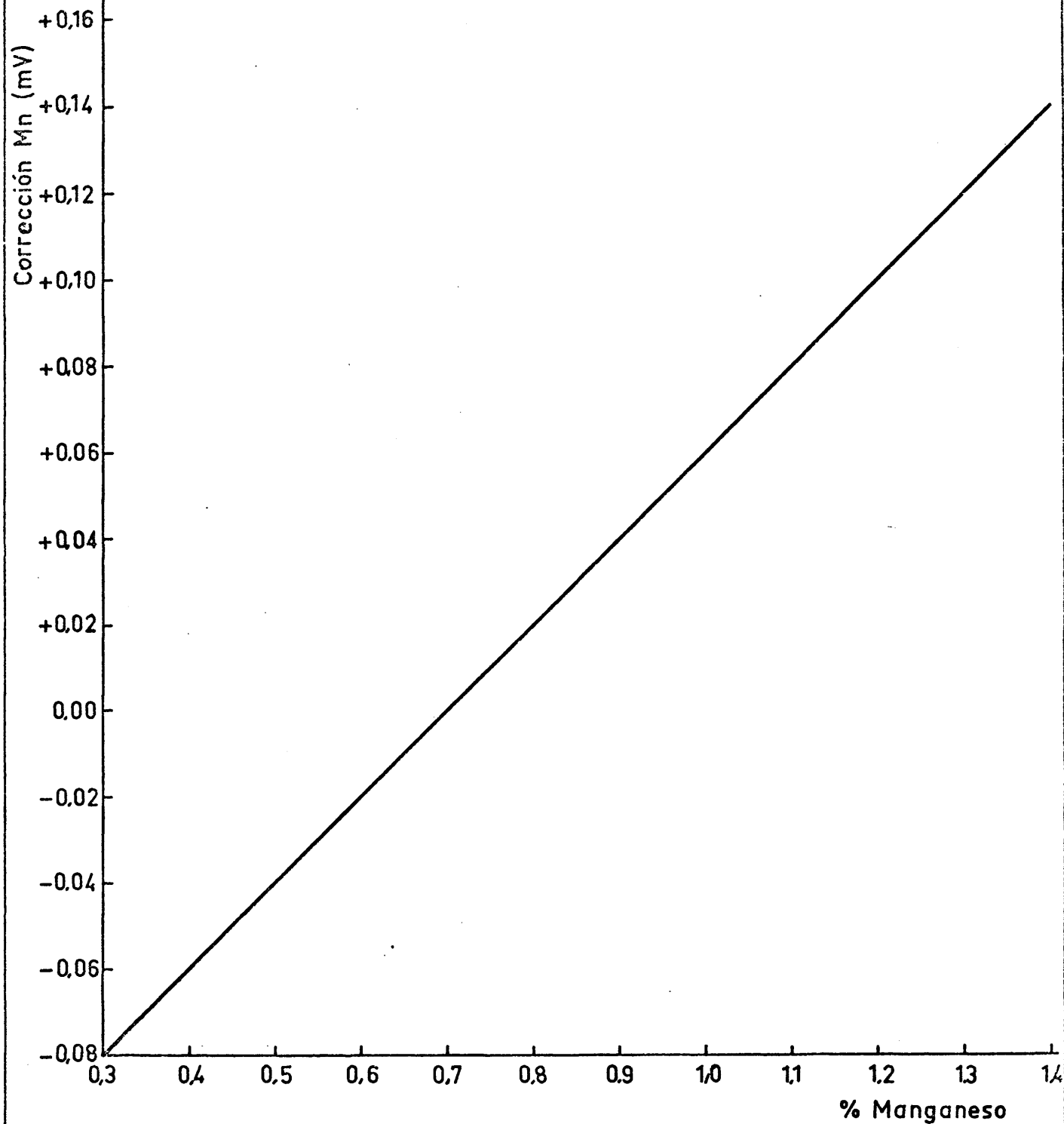


Fig. 9. 5 .- Curva de corrección para los diferentes contenidos en Manganeso

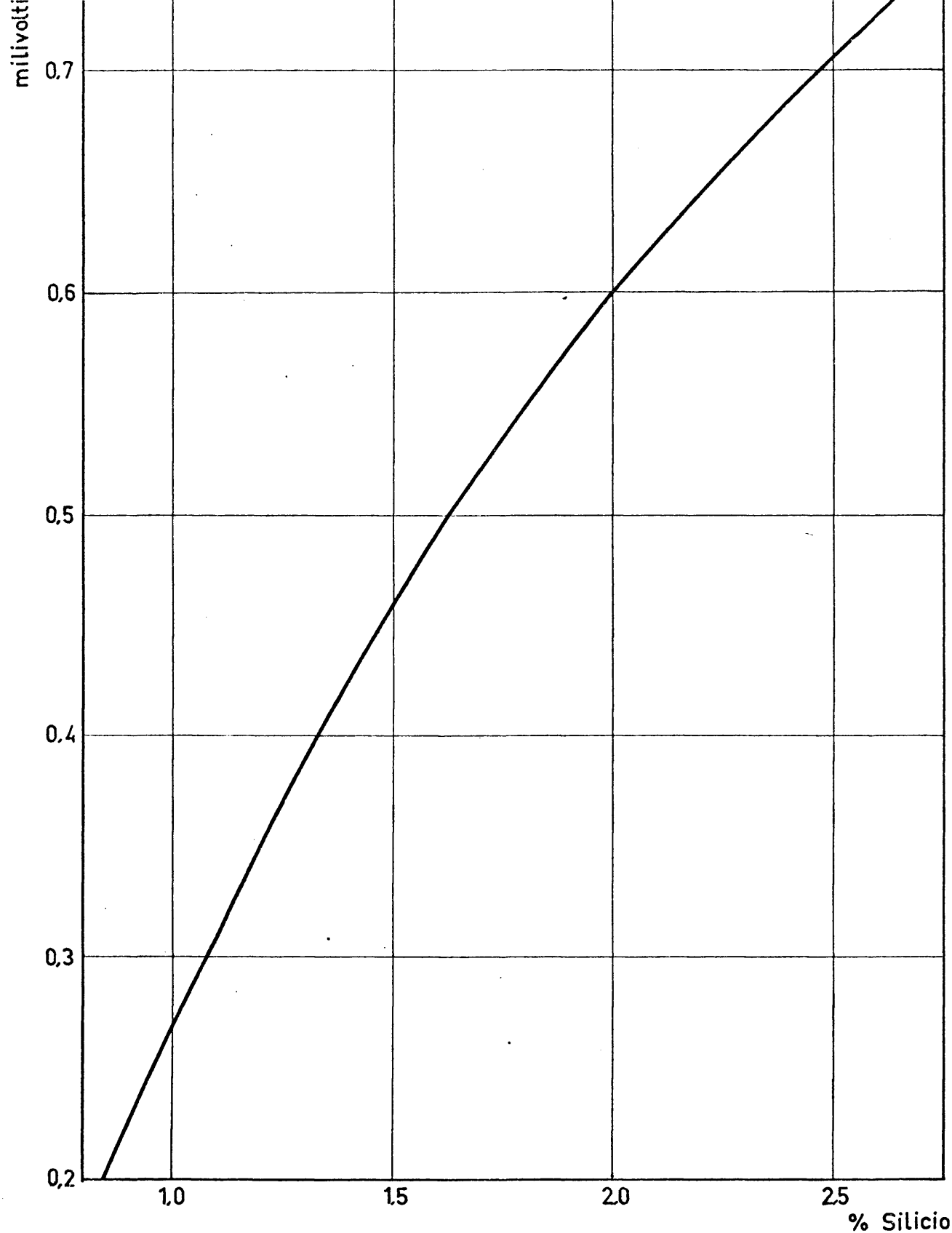


Fig.9.6. - Curva de calibrado: mV-% Si, para arrabios comprendidos entre las siguientes composiciones: C = 3.0-4.2 %; Mn = 0.6-1.3 %; P = 0.1-0.2 %; S = 0.002-0.007 %

Para su conocimiento fué necesario realizar el montaje, instalación y puesta a punto de un equipo del que a continuación se realiza una descripción.

#### Descripción del equipo utilizado

El equipo para realizar la medida de temperatura del arrabio, consta fundamentalmente de las siguientes partes: registrador, caña de inmersión y termopar.

El registrador es del tipo potenciométrico Electronik, con unidad de prenormalización y detector de equili--brio, con una escala de  $1.330^{\circ}\text{C}$  a  $1.750^{\circ}\text{C}$ , calibrado para termopares de Pt/Pt-Rh, Tipo S. La escala por debajo de  $1.330^{\circ}\text{C}$  está sustituida con una escala para la temperatura ambiente de 0 a  $60^{\circ}\text{C}$ .

En las inmediaciones del registrador se encuentra un sistema de tres señales ópticas y una acústica, que nos informa sobre las actuaciones del operario que realiza la medida.

La caña de inmersión está constituida por un tubo de  $1\frac{1}{2}$ " de diámetro interior, en uno de cuyos extremos posee un conector del termopar y en otro extremo sale un cable compensador, unido al conector por un extremo y por el otro, a una clavija de desconexión rápida. La señal eléctrica de medi

dida, se transmite al equipo registrador mediante un cable compensador blindado.

El termopar de Pt/Pt-Rh, está situado en un cartucho, que se acopla a la caña de inmersión. Se encuentra debidamente protegido con el fin de no conteminarse durante el tiempo de inmersión en el arrabio.

#### Descripción de la operación de medida

Un segundo sistema de señales acústicas y ópticas, similares a las del equipo registrador y acopladas entre sí, se encuentran a la vista del operario que realiza la medida.

Al conectar el cartucho del termopar, el indicador de escala del registrador sube a marcar la temperatura ambiente de la zona de medida, iniciándose la normalización automática, encendiéndose la luz verde, que indica la continuidad del termopar y que el equipo se ha normalizado, comenzando en este momento el movimiento de papel registrador. Ahora puede introducirse la caña en el canal de colada, iluminándose la luz naranja que indica la existencia de una polaridad correcta. En el momento en que se alcanza el equilibrio se enciende la luz roja y la señal acústica, indicando que se ha registrado la temperatura real, se retira la caña y se desconecta el certucho, que da lugar a la extinción de las señales, hacien-

do que la pluma del registrador baje al final de escala, parándose el motor del papel registrador.

Durante la operación de medida, el operario se orienta por las indicaciones ópticas y acústicas, realizando automáticamente el registro gráfico de la temperatura el equipo registrador.

Para cada medida de temperatura se utiliza un nuevo cartucho, por quedar inutilizado el de la medida anterior.

#### 9. 1. 6. Equipo para la determinación rápida de la composición química de la escoria

Por no disponer la Factoría de métodos rápidos para conocer la composición de la escoria, fué necesario poner a punto una técnica mediante un equipo de absorción atómica, que permitió realizar su análisis completo en un tiempo máximo de 60 minutos.

#### Descripción del equipo utilizado

Para la determinación rápida de los componentes de la escoria se utilizó un equipo de absorción atómica, PERKIN-ELMER, modelo 290-B. La técnica de la absorción atómica

se funda en que los átomos de los elementos a determinar son excitados por la temperatura y por la resonancia producida por la emisión de fotones, procedentes de una fuente que emite en una determinada frecuencia. Al ser absorbidos dichos fotones, se produce una disminución de la intensidad de la radiación que sale de la llama, realizándose la medida de dicha disminución mediante un receptor adecuado.

Como fuente de radiación se utilizan lámparas de cátodo hueco simples y múltiples, formadas por el elemento que se desea determinar y que emiten el espectro característico de dicho elemento. La muestra absorbe únicamente parte de la energía correspondiente a la línea de resonancia, quedando inalteradas otras líneas, que se eliminan mediante un monocromador. En estas condiciones, con el fotodetector se mide únicamente la intensidad de la línea de resonancia.

Para estar en condiciones de absorción, los átomos deben estar combinados y en su estado de energía mínima. Esta condición se alcanza vaporizando la muestra en una llama adecuada.

La absorción atómica obedece a la Ley de Beer, o sea, la concentración del elemento en la muestra es proporcional a la de absorción.

### Técnica utilizada

Se realiza el análisis completo de siete escorias durante el día, empleando para cada escoria un tiempo aproximado de 60 minutos. La muestra de escoria se muele en un molino TEMA con cazoleta de VIDIA, se pesa y funde con borax en crisol de platino. Una vez fundida, se extrae con ClH y se preparan las diluciones adecuadas, estando lista para su análisis.

Para la determinación de los óxidos refractarios ( $\text{CaO}$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), se utiliza acetileno como combustible y óxido nitroso como oxidante. Para el resto de los elementos de la escoria se utiliza aire y acetileno.

Las principales ventajas de esta técnica son las siguientes:

- Rapidez en el análisis
- Fácil preparación de la muestra
- Técnica operatoria relativamente sencilla
- Pocas interferencias
- Buena precisión



### 9. 1. 7. Equipo para conocer la distribución de los gases en la cuba

Para conocer la distribución de los gases en la cuba del horno alto y conocer por tanto si la marcha es periférica o central, se han construido e instalado en la cuba del Horno Alto Nº 1, dos sondas horizontales que penetrando a través de la carga, realizan la medida de la temperatura del gas a lo largo de un diámetro de la cuba.

#### Descripción del equipo

Las sondas penetran en el horno por un injerto, impulsadas mediante un motor de 4 C.V. hasta el centro, regresando a continuación al punto de partida. Con el fin de obtener respuestas rápidas en la medida de temperatura se utiliza la técnica de pirometría de succión. Los gases del horno son espirados, al pasar aire comprimido a gran velocidad a través de un eyector, calentando el termopar, el cual envía la señal al registrador multipunto situado en la Cabina de Control. Al moverse las sondas en el horno, se obtiene un perfil de temperaturas en el gráfico del registrador, que permite conocer el flujo de gases en la cuba.

#### Automatismo de las sondas

Con el fin de realizar el ciclo completo auto-

maticamente, fué necesario la realización de un sistema de automatismo, que actuado desde la Cabina de Control, realizara las siguientes funciones:

- a) Al conectar el interruptor en la cabina se pone en funcionamiento el equipo registrador y se da paso, por medio de una electroválvula, al aire comprimido, que limpia la zona del termopar de la sonda.
- b) Al cabo de un cierto tiempo se abre la electroválvula de salida de gas, pasando el aire comprimido a través del eyector, aspirando los gases calientes de la cuba.
- c) A continuación empieza a introducirse la sonda en el horno hasta llegar al final del recorrido donde invierte el sentido de marcha. En todo momento la temperatura de los gases se registra automáticamente. Al llegar al principio de carrera, se paren los motores, cierran válvulas y se desconecta el registrador gráfico.

En el panel de mando se encuentran una serie de señales luminosas que indican en cada momento las posiciones, dentro del horno de las dos sondas.

Por ser un equipo piloto en plan experimental, se encontraron grandes dificultades para su puesta a punto en un período de tiempo tan reducido.

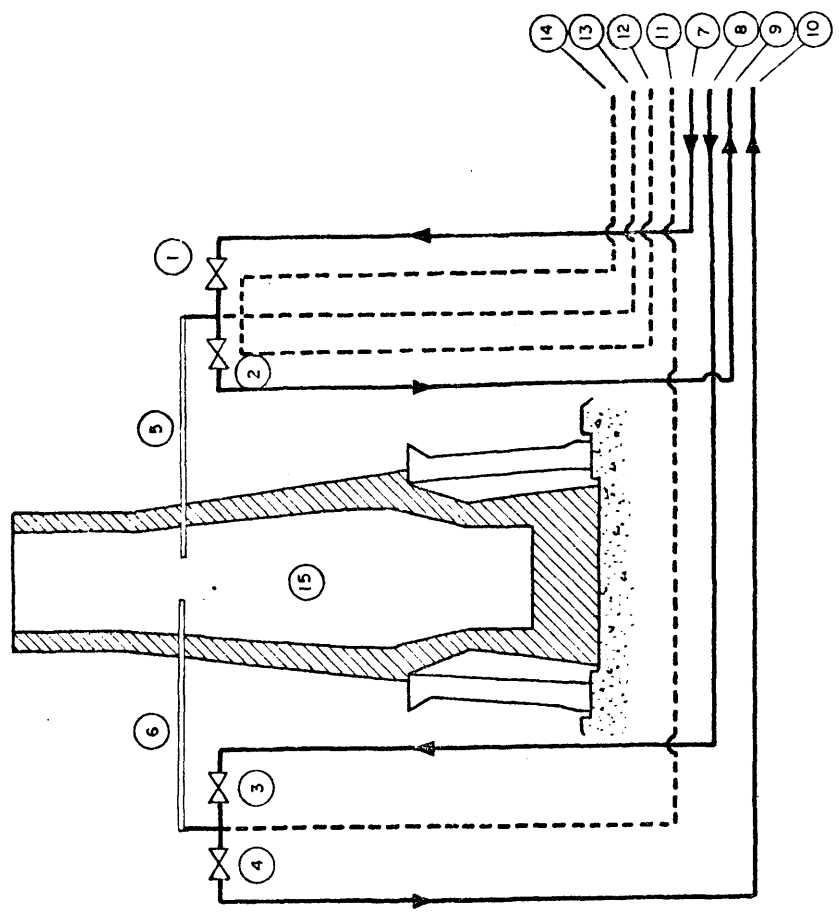
En la figura 9. 7. , se encuentra el diagrama general de la instalación de las sondas de la cuba.

#### 9. 1. 8. Equipo para el cortado del coque

Con el fin de ensayar la influencia del tamaño y estabilización del coque en la marcha del horno alto y también la evaluación de los rendimientos industriales de la cortadora, coste del cortado, rendimiento de la coquería, fué necesario la instalación de una cortadora, fabricada por SUMITOMO, por primera vez en España, situada entre la batería de coque y la planta de clasificación.

Sus dimensiones son 510 x 600 mm., con una capacidad máxima de 40 t./h. para cortar a 75 mm., estando accionada por un motor de 5,5 K.w.

La máquina lleva dos rodillos situados paralelamente, cada uno de los cuales tiene una serie de discos dentados. El coque que cae entre los rodillos, que giran en sentido contrario,



**HORNO ALTO Nº**  
**UNINSA, GIJON**

**ESQUEMA DE CONDUCCION**  
**Y DE GASES DE LAS SONDAS:**

- (1), (2), (3) y (4) Valvulas E
- (5) Sonda Nº 1
- (6) Sonda Nº 2
- (7) y (8) Lineas entrada aire c
- (9) y (10) Lineas salida gases
- (11) y (12) Lineas al registrador
- (13) Linea de fuerza : ~ 220
- (14) Lineas de automatismo so

----- Lineas eléctricas  
———— Lineas de gases

**FIG.9.7.**

es atrapado por estos y cortado por las cuchillas a un tamaño de terminado según la separación de los rodillos.

El mecanismo reductor CYCLO con el motor, a través del acoplamiento axial de arboles, hace girar el eje del rodillo del lado transmisor, lo que a su vez, mueve el eje del rodillo del lado impulsado a través del mecanismo de enclavamiento contenido en la caja de engranajes. La acción combinada de los dos rodillos lleva a cabo el corte del coque.

Si durante la operación de corte se produjese una sobrecarga, el arbol regulador la absorberá automáticamente. Este arbol regulador permite además cambiar el tamaño de los productos.

En el caso de que se introduzcan materias extrañas, tales como hierro, la máquina dispone de un sistema de espigas desplazadoras que ceden y evitan sufra averías.

Sus constructores indican las siguientes ventajas:

- La cantidad de polvo producido es la mínima posible.
- Su mecanismo es sencillo y de fácil manejo.
- Se requiere poco espacio teniendo en cuenta su capacidad de cortado.

- La operación de sustituir las piezas gastadas es fácil, con fácil entretenimiento.
- Bajos gastos de explotación debido al pequeño consumo de energía.

Una vez cortado el coque se criba a 30 ó 20 mm. según los casos, ya que en un primer período se ensayó el coque cortado a un tamaño comprendido entre 30 - 75 mm. y en otro período a 20 - 65 mm.

La máquina cortadora ha funcionado practicamente sin averías y ha cortado 30.000 toneladas de coque, lo que representa practicamente el 50% de una campaña normal definida por la vida media de las cuchillas giratorias.

## 9. 2. MÉTODOS DE CÁLCULO

### 9. 2. 1. Cálculo de un lecho de fusión

En el cálculo del lecho de fusión se trata de determinar las proporciones de las diversas materias primas (minerales, coque, fundentes) a cargar en el horno alto, con el fin de elaborar un arrabio de composición dada.

Los datos esenciales son, por una parte los análisis de los diferentes minerales, fundentes y combustibles y, por otra parte la composición del arrabio a obtener, del cual resulta la de la escoria.

Otros datos son, el reparto de los diversos elementos (hierro, manganeso,...) entre el arrabio, escoria y polvos; consideraciones económicas como por ejemplo, el límite de la utilización de un mineral costoso; y según las experiencias de otras campañas, las proporciones relativas de arrabio, coque, escoria y polvos.

Se desea obtener un arrabio de la siguiente composición:

$\text{Fe} = 93,5\%$ ;  $\text{Si} = 1\%$ ,  $\text{Mn} = 1,3\%$

La escoria tendrá una basicidad de,

$$\text{I.B.} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 0,96$$

Se supone un consumo de coque en estado natural de 660 Kg./t.a., con un contenido en cenizas de un 10%.

Se dispone de sinterizado y dos minerales, cuyas proporciones en la carga se ha creído conveniente fijar como sigue:

Sinterizado = 63,4%

Cassinga = 31,0%

Goa = 5,6%

Se toma como base 1.000 Kg. de arrabio producido.

Fe en el arrabio

$$1.000 - 65 = 935 \frac{\text{Kg. de Fe}}{\text{t.a.}}$$

Fe en el coque

Las cenizas del coque tienen 12,46% de Fe:

$$\frac{66 \times 12,46}{100} = 8,22 \text{ Kg. Fe/t.a.}$$

Pérdidas de Fe:

- Pérdidas de hierro en chatarra de ruta:

15 Kg. Fe/t.a.



- Pérdida de hierro en la escoria: El arrabio de  $\text{FeO}$  en la escoria es de 0,6%. Suponiendo un volumen de escoria de 340 Kg./t.a.

$$\frac{340 \times 0,6}{100} \times 0,778 = 1,59 \text{ Kg. Fe/t.a.}$$

- Pérdidas de hierro en el polvo de tragante. Se considera en 20 Kg./t.a. con un 40% de Fe

$$\frac{20 \times 40}{100} = 8 \text{ Kg. Fe/t.a.}$$

Para producir 1.000 Kg. de arrabio se necesitaran, teniendo en cuenta las aportaciones y las pérdidas,

$$935 - 8,22 + 15 + 1,59 + 8 = 951,37 \text{ Kg. Fe/t.a.}$$

Según la tabla 9. 1. , la ley media del lecho de fusión es de  $\text{Fe} = 58,44\%$ , por lo tanto, el consumo específico de la mezcla de minerales que forman el lecho de fusión será,

$$\frac{951,37}{0,5844} = 1.628 \frac{\text{Kg. de mineral}}{\text{t.a.}}$$

Para calcular el consumo de fundente necesario a incorporar a la ganga para obtener una escoria fusible con mínimas pérdidas térmicas y produzca una adecuada desulfuración, se le supone un índice de basicidad de 0,96. Teniendo en cuenta los valores obtenidos en la tabla 9. 2. , se calcula el fundente, en este caso caliza, que es necesario añadir:

$$0,96 = \frac{63,72 + 22,47 + x}{105,94 + 47,68} \quad x = 61,32 \frac{\text{Kg.cal.}}{\text{t.a.}}$$

**TABLA 9.1.**  
**Cálculo de la carga férrica /Tonelada de arrabio**

Materiales	kg C C	Fe		Mn		P		SiO <sub>2</sub>		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		CaO		MgO		S	
		%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg	%	Kg
SINTERIZADO	634	57	361,38	1,40	8,87	0,055	0,348	6,88	43,49	1,50	9,51	5,70	36,13	1,94	12,3	0,012	0,076
CASINGA	310	65,13	201,9	0,10	0,31	0,024	0,074	5,18	16,05	1,71	5,30	0,20	0,62	0,04	0,124	0,013	0,04
GOA	56	48,51	21,16	4,17	2,33	0,032	0,079	3,05	1,70	5,89	3,29	0,26	0,145	0,06	0,033	0,02	0,011
SUMA . . . .	1000	58,44	584,44	1,151	11,51	0,046	0,468	6,12	61,2	1,81	18,1	3,69	36,9	1,24	12,45	0,0127	0,127

NOTA : Los Análisis Químicos corresponden a los minerales en estado natural

teniendo en cuenta la eficiencia de la caliza,

$$x = 61,32 \times 1,83 = 112 \frac{\text{Kg. caliza}}{\text{t.a.}}$$

Conocidos los consumos específicos de la mezcla de mineral, caliza, y como el peso de cada carga es de 2.850 Kg. coque, los pesos correspondientes a los demas componentes serán:

- Minerales:

$$\frac{1.628 \times 2.850}{660} = 7.100 \frac{\text{Kg. mineral}}{\text{carga}}$$

$$\text{Sinterizado: } 7.100 \times 0,634 = 4.457 \text{ Kg./carga}$$

$$\text{Cassinga: } 7.100 \times 0,310 = 2.179,3 \text{ Kg./carga}$$

$$\text{Goa: } 7.100 \times 0,056 = 393,6 \text{ Kg./carga}$$

- Caliza

$$\frac{112 \times 2.850}{660} = 485 \frac{\text{Kg. caliza}}{\text{carga}}$$

Para conocer el volumen de escoria y su composición e índice de basicidad, se tienen en cuenta los diferentes elementos que aportan las cenizas del coque, la caliza adicional y las pérdidas en el polvo de tragante, como se refleja en la tabla 9. 2.

Se supone una incorporación al arrabio del 70% del manganeso de los minerales,

$$18,88 \times 0,7 = 13,22 \text{ Kg. de Mn./t.a.}$$

### TABLA 9.2:

[illegible]

la diferencia, pasará a la escoria.

Suponiendo que el arrabio tenga 0,035% de azufre y que el 5% del azufre total de la carga se volatiliza, pasará a la escoria,

$$(5,664 - 0,350)0,95 = 5,05 \frac{\text{Kg. de azufre}}{\text{t.a.}}$$

- La composición del arrabio resultante será la siguiente:

$$\begin{aligned} \text{C} &= 4\%; \text{Si} = 1\%; \text{Mn} = 1,32\%; \text{P} = 0,084\%; \\ \text{S} &= 0,035\%; \end{aligned}$$

- La composición de la escoria será:

$$\begin{aligned} \text{FeO} &= 0,65\% \\ \text{MnO} &= 2,35\% \\ \text{SiO}_2 &= 33,26\% \\ \text{Al}_2\text{O}_3 &= 15,38\% \\ \text{CaO} &= 39,33\% \\ \text{MgO} &= 7,39\% \\ \text{S} &= 1,61\% \end{aligned}$$

- El volumen de la escoria será:

$$\begin{aligned} \text{V.E.} &= (\text{CaO} + \text{MgO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3) \times 1,07 \\ \text{V.E.} &= 320 \text{ Kg./t.a.} \end{aligned}$$

con un índice de basicidad total de:

$$\text{I.B.} = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3} = 0,96$$

### 9. 2. 2. Cálculo del oxígeno cedido por la carga

Para realizar un balance de oxígeno que nos permita llegar al conocimiento del índice de producción, es necesario calcular el oxígeno que cede la carga durante la reducción.

El oxígeno que cede la carga procede de los óxidos de hierro de los minerales, de los óxidos no ferrosos que se reducen parcialmente y del  $\text{CO}_2$  contenido en los fundentes.

Se realiza este cálculo cada cuatro horas, o sea, en el período comprendido entre dos coladas. Para realizar este cálculo es necesario emplear los siguientes datos.

A continuación se realizan los cálculos del día 13-3-71, período de 3 h. a 7 h., correspondiente a la colada nº 14.948.

#### - Análisis de minerales

	$\frac{\text{FeO}}{23}$	$\frac{\text{FeO}}{23}$	$\frac{\text{SiO}_2}{2}$	$\frac{\text{CaO}}{23}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{23}$	$\frac{\text{MgO}}{23}$	$\frac{\text{Mn}}{23}$	$\frac{\text{P}_2\text{O}_5}{23}$
Sinterizado	66,17	8,43	7,91	7,51	1,77	2,86	0,94	0,045
Cassinga	88,12	--	7,35	0,27	3,36	0,06	0,11	0,20
Goa	67,5	--	3,26	0,002	9,0	0,04	4,39	0,10

#### - Análisis del coque

$\frac{\text{H}_2\text{O}}{23}$	$\frac{\text{Cenizas}}{23}$	$\frac{\text{Volatiles}}{23}$	$\frac{\text{C. Fijo}}{23}$	$\frac{\text{H}_2}{23}$
9,71%	10,80%	2,05%	77,5%	0,43%

- Análisis de los fundentes

$\frac{\text{CO}_3\text{Ca}}{96\%}$	$\frac{\text{CO}_3\text{Mg}}{2\%}$	$\frac{\text{SiO}_2}{2\%}$
-------------------------------------	------------------------------------	----------------------------

- Características de marcha

- Viento

Volumen $(\text{m}^3/\text{h.})$	Temperatura $(^\circ\text{C})$	Humedad $(\text{gr}/\text{N.m}^3)$
36.166	750	11,68

- Arrabio

$\frac{\text{C}}{4,26\%}$	$\frac{\text{Si}}{1,1\%}$	$\frac{\text{Mn}}{1,35\%}$	$\frac{\text{P}}{0,1\%}$
---------------------------	---------------------------	----------------------------	--------------------------

- Escoria

$\frac{\text{CaO}}{44,77\%}$	$\frac{\text{MgO}}{5,70\%}$	$\frac{\text{SiO}_2}{32,4\%}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{16,43\%}$	$\frac{\text{FeO}}{0,98\%}$	$\frac{\text{MnO}}{1,22\%}$	$\frac{\text{I.B.}}{1,03}$
------------------------------	-----------------------------	-------------------------------	---	-----------------------------	-----------------------------	----------------------------

- Gas de tragante

$\frac{\text{CO}}{27,44\%}$	$\frac{\text{CO}_2}{13,89\%}$	$\frac{\text{H}_2}{0,90\%}$	$\frac{\text{N}_2}{57,77\%}$
-----------------------------	-------------------------------	-----------------------------	------------------------------

Mineral/día = 706.200 Kg./día

Producción = 403,63 t.a./día

Consumo coque, (e.n.) = 720,2 Kg./t.a.

Mineral/t.a. = 1.749,6 Kg./t.a.

Fundente/t.a. = 164,2 Kg./t.a.

Carga:

Sinterizado..... 62,3%

Cassinga..... 28,1%

Goa..... 9,6%

- Peso de Mineral

$$\text{Sinterizado: } 1.749,6 \times 0,623 = 1.090 \text{ Kg./t.a.}$$

$$\text{Cassinga : } 1.749,6 \times 0,281 = 491,6 \text{ Kg./t.a.}$$

$$\text{Goa : } 1.749,6 \times 0,096 = 167,9 \text{ Kg./t.a.}$$

- Oxígeno que cede la carga

- Sinterizado

$$\text{O}_2 \text{ en Fe}_2\text{O}_3; \frac{48}{160} \times 0,6617 \times 1.090 = 216,4 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

$$\text{O}_2 \text{ en FeO; } \frac{16}{72} \times 0,0843 \times 1.090 = 20,4 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

- Cassinga

$$\text{O}_2 \text{ en Fe}_2\text{O}_3; \frac{48}{160} \times 0,88 \times 491,6 = 129,5 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

- Goa

$$\text{O}_2 \text{ en Fe}_2\text{O}_3; \frac{48}{160} \times 0,67 \times 167,9 = \underline{33,7 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}}$$

$$\text{Total..... } 400 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

- Arrabio

$$\text{O}_2 \text{ en reducción del SiO}_2 = \frac{32}{28} \times 11,0 = 12,54 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

$$\text{O}_2 \text{ en reducción del MnO} = \frac{16}{55} \times 13,5 = 3,91 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

$$\text{O}_2 \text{ en reducción del P}_2\text{O}_5 = \frac{80}{62} \times 1,0 = \underline{1,29 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}}$$

$$\text{Total..... } 17,74 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

- Fundente

$$\text{O}_2 \text{ en el CO}_2 \text{ del fundente} = 164,2 \times 0,314 = 51,6 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$



- Escoria

$$\text{O}_2 \text{ como FeO: } \frac{16}{72} \times 9,8 = 2,16 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

- Oxígeno total cedido por la carga

$$400 + 17,74 + 51,6 - 2,16 = 467,2 \text{ Kg.O}_2/\text{t.a.}$$

$$467,2 \times \frac{22,4}{32} = 327 \text{ N.m}^3 \text{O}_2/\text{t.a.} = \underline{\Omega}$$

9. 2. 3. Cálculo del índice de producción en los períodos considerados

En regimen permanente el balance de los caudales de oxígeno en el horno alto es el siguiente:

(1) Caudal de  $O_2$  que sale por el tragante = (2) Caudal de  $O_2$  soplado en toberas + (3) Caudal de  $O_2$  transferido de la carga al gas.

- El caudal de oxígeno que sale por el tragante se compone de dos términos: un término principal correspondiente al oxígeno contenido en el gas seco en la forma de CO y  $CO_2$  y un término correctivo que representa la cantidad de oxígeno, en forma de vapor de agua, procedente de la reducción de los óxidos por el hidrógeno. Este segundo término puede ser calculado en la práctica, bien fijando un coeficiente medio de utilización del hidrógeno como reductor o bien calculando en cada instante la aportación de hidrógeno del coque y eventualmente por el combustible auxiliar inyectado en toberas.
- El caudal de oxígeno introducido a nivel de toberas es función de la humedad del viento y eventualmente del viento enriquecido con oxígeno.

- El caudal de oxígeno transferido de la carga al gas es proporcional a la producción  $P_i$  de metal líquido.

El coeficiente de proporcionalidad es la cantidad de oxígeno ( $\Omega$ ) transferida al gas por tonelada de arrabio, estando constituido por el oxígeno unido al hierro, el procedente de los fundentes y de la reducción de los elementos que pasan en solución al arrabio.

El caudal de oxígeno que sale por el tragante en la forma de CO y CO<sub>2</sub> es,

$$\frac{1}{2} \times G \times \left( \frac{CO + 2 \cdot CO_2}{100} \right), (N.m^3/h.)$$

El caudal de oxígeno transferido de la carga es,

$$P \times \Omega, (N.m^3/h)$$

El caudal de oxígeno soplado en toberas es igual al oxígeno aportado por el viento seco,

$$D_r \times \frac{21}{100}, (N.m^3/h.)$$

más el caudal de oxígeno, correspondiente a la reducción del vapor de agua por el carbono que acompaña al viento.

Realizando el balance y haciendo  $D_v = 1.000 \text{ N.m}^3$ , se obtiene la expresión del índice de producción  $P_i$  de arrabio, referido a  $1.000 \text{ m}^3$  de viento soplado en toberas,

$$P_i = \frac{1}{2\Omega} \cdot (790 \cdot A + D - 1,24 \cdot h - 420), \text{ Kg. arrabio/1.000 m}^3 \text{ viento}$$

Se determina el valor del índice de producción en el día 13-3-71, período de 3,00 a 7,00 horas, colada N° 14.948.

El valor del análisis medio del gas de tragante durante dicho período fué,

$$\text{CO} = 27,44\%; \quad \text{CO}_2 = 13,89\%; \quad \text{H}_2 = 0,90\%; \quad \text{N}_2 = 57,77\%;$$

$$\text{La humedad del viento, } h = 11,68 \text{ gr. H}_2\text{O/m}^3.$$

El oxígeno cedido por la carga, calculado en 9.2.2., tiene un valor de;  $\Omega = 327 \text{ N.m}^3 \text{ O}_2/\text{t.a.}$

El hidrógeno y carbono fijo del coque tienen los valores:  $\text{H}_2 = 0,43\%; \quad \text{C}_f = 77,5\%.$

Por lo tanto,

$$A = \left( \frac{\text{CO} + 2 \cdot \text{CO}_2 - \text{H}_2}{\text{N}_2} \right) \text{ g. tragante} = 0,9402$$

$$B = \left( \frac{\text{CO} + \text{CO}_2}{\text{N}_2} \right) \text{ g. tragante} = 0,7154$$

$$K = \left( \frac{H_2}{C_t} \right) \text{ coque} = 5,5 \cdot 10^{-3}$$

$$\Omega = 327 \cdot N \cdot m^3 O_2 / t.a.$$

$$D = 1,24 \cdot h + 100 \cdot K (47,4 \cdot B + 2,4) = 34,45$$

El valor del índice de producción en el período considerado será,

$$Pi = \frac{1}{2 \cdot \Omega} \cdot (790 \cdot A + D - 1,24 \cdot h - 420) = 524,$$

$$Pi = 524 \text{ Kg. arrabio} / 1.000 \text{ m}^3 \text{ viento}$$

#### 9. 2. 4. Balance de carbono

Se puede establecer un balance de carbono a partir del índice de producción.

Carbono gasificado = carbono quemado en toberas + carbono de las reacciones de reducción directa.

- La cantidad de carbono quemado en toberas por el viento se puede deducir del conocimiento del índice de producción,  $P_i$ , siendo inversamente proporcional a dicho índice:

$$C_T = \frac{225}{P_i}, \text{ (Kg./t.a.)}$$

- El peso total de carbono gasificado, teniendo en cuenta el balance de nitrógeno, será:

$$M = \frac{423 \cdot B}{P_i} \text{ (Kg./t.a.)}$$

- El carbono consumido en las reacciones de reducción directa será:

$$C_R = M - C_T, \text{ (Kg./t.a.)}$$

A continuación se determina el valor del índice de producción en el día 13-3-71, período de 3,00 a 7,00 horas, colada Nº 14.948,

$$P_i = 524 \text{ Kg. arrabio/1.000 m}^3 \text{ viento}$$

$$B = 0,7154$$

La cantidad de carbono quemado en toberas,

$$C_T = \frac{225}{P_i} = 429,4 \text{ Kg. coque/t.a.}$$

El carbono total gasificado será,

$$M = \frac{423 \cdot B}{P_i} = 577,5 \text{ Kg. coque/t.a.}$$

El carbono de reducción directa,

$$C_R = M - C_T = 148,1 \text{ Kg. coque/t.a.}$$

#### 9. 2. 5. Balance térmico; parámetro Wu

Se puede considerar al horno alto dividido en dos partes:

- la parte superior, zona de preparación, es simplemente un regenerador del potencial térmico y reductor del gas procedente de la zona de elaboración. En esta zona el coque es químicamente inerte, produciéndose el precalentamiento de los sólidos hasta  $950^{\circ}\text{C}$  y su prereducción.
- la parte inferior, zona de elaboración, es en realidad la zona activa del horno, produciéndose importantes intercambios térmicos. Los balances de materiales y térmico de esta zona representan en realidad los balances del horno. Tomando  $950^{\circ}\text{C}$  como temperatura de referencia, el balance térmico de la zona de elaboración, refiriéndolo a la tonelada de arrabio será:

### AFORTES TERMICOS

1. Entalpia del viento húme-  
do.
2. Entalpia del gas procedente  
de la combustión del  
coque a CO por el viento  
húmedo.

### NECESIDADES TERMICAS

3. Calor de reducción indirecta  
de óxidos de hierro por  
CO y H<sub>2</sub>.
4. Energía consumida para re-  
generar el óxido de carbo-  
no.
5. Energía Wu cedida por el  
gas para satisfacer las siguientes necesidades:
  - Reducción de óxidos no  
ferrosos.
  - Carburación del arrabio.
  - Entalpia del arrabio.
  - Entalpia de la escoria.
  - Pérdidas térmicas.

Trabajando el horno en regimen permanente se verifica,  $(5) = (1) + (2) - (3) - (4)$ .

El parámetro Wu es representativo del grado de calentamiento de los líquidos después de la fusión y por tanto de la calidad del arrabio, pudiendolo considerar como un valor representativo del estado térmico del horno.



Se calcula el valor del parámetro Wu mediante el conocimiento de:

- Análisis del gas de tragante.
- Acondicionamiento del viento.
- Grado de oxidación del lecho de fusión que se carga al horno.

Mediante el conocimiento de la cantidad de carbono quemado en toberas y del acondicionamiento del viento soplado (humedad - temperatura) se calcula el punto (1) y (2) del balance térmico.

Los puntos (3) y (4) del balance representan las necesidades térmicas de las reacciones y la cantidad de energía consumida puede considerarse en una primera aproximación como la energía correspondiente a la gasificación de la cantidad de carbón  $C_R$ , por la reacción de regeneración del monóxido de carbono. Teniendo en cuenta mediante una estimación complementaria las cantidades de calor liberadas en las reacciones de reducción indirectas por CO y  $H_2$  en la zona de elaboración, se llega al valor del parámetro Wu.

$$Wu = \frac{1}{P_i} \left[ 901 + (360 + 0,6 \cdot h) \frac{\theta_v}{1.000} + 270 \cdot C - 1.375 \cdot B - 0,340 - 0,16 \cdot h \right] + 100$$

en donde  $W_u = \text{K.cal./t.a.}$

A continuación se determina el valor del parámetro  $W_u$  en el período de 3,00 a 7,00 horas del día 13-3-71, colada N° 14.948. Para su cálculo se utilizan todos los valores calculados en los apartados 9. 2. 2., 9. 2. 3. y 9. 2. 4.

$$P_i = 524 \text{ Kg. arrabio / } 1.000 \text{ m}^3 \text{ viento}$$

$$h = 11,68 \text{ gr. vapor H}_2\text{O/N.m}^3 \text{ viento}$$

$$\Theta_v = 750^\circ\text{C}$$

$$C = 0,0155$$

$$B = 0,7154$$

$$D = 34,45$$

Mediante estos valores llegamos al conocimiento del parámetro,

$$W_u = 449,6 \times 10^3 \text{ K.cal./t.a.}$$

### 9. 3. LOCALIZACION DE LOS DATOS EXPERIMENTALES

Todos los resultados experimentales y los cálculos realizados, se encuentran archivados en el Departamento de Siderurgia del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas.

## NOMENCLATURA

- A      Parámetro que relaciona las composiciones de CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en el gas de tragante.
- A<sub>1</sub>      Analizador infrarrojo para CO<sub>2</sub>.
- A<sub>2</sub>      Analizador de conductividad térmica para H<sub>2</sub>.
- A<sub>3</sub>      Analizador infrarrojo para CO.
- B      Parámetro que relaciona las composiciones de CO, CO<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> del gas de tragante.
- C      Parámetro que relaciona el H<sub>2</sub> y N<sub>2</sub> en el gas de tragante.
- C<sub>1</sub>      Carbono fijo del coque en %.
- C<sub>R</sub>      Carbono consumido en reacciones de reducción directa, Kg./t.a.
- C<sub>T</sub>      Carbono quemado en toberas, Kg./t.a.
- C<sub>1</sub>      Transductor con balance automático del equipo analizador de gas de tragante.

$C_2$	Transductor con balance automático del equipo analizador de gas de tragante.
CO	Composición del monóxido de carbono en el gas de tragante, en %.
$CO_2$	Composición del dióxido de carbono en el gas de tragante en %.
D	Constante en función de h, K y B.
Dv	Caudal de viento soplado, $N.m^3/h$ .
Ec	Parámetro característico del estado térmico de las zonas de etalajes y crisol del horno alto, Kcal./t.a.
$Fe_T$	Hierro total en los minerales en %.
$Fe^{++}$	Hierro en estado de ferroso en los minerales en %.
$Fe^0$	Hierro en estado metálico en los minerales en %.
G	Caudal másico del gas de tragante, en $N.m^3/h$ .
h	Humedad del viento soplado, $gr.H_2O/N.m^3$ .
H	Altura de la zona de reserva de coque

$H_2$	Composición del hidrógeno en el gas de tragante, en %.
I.B.	Indice de basicidad total de la escoria.
j	Nivel de inyección de fuel-oil, gr./N.m <sup>3</sup> .
K	Relación entre el hidrógeno y el carbono fijo del coque.
M	Peso total de carbono gasificado, Kg./t.a.
M.V.	Materias volátiles del coque, en %.
n	Número de coladas.
$N_2$	Composición de nitrógeno en el gas de tragante, en %.
P	Producción horaria de arrabio, t.a./h.
Pi	Indice de producción instantáneo o intensidad de fusión, Kg.a./1.000 m <sup>3</sup> viento.
Q	Cantidad de energía almacenada en la zona de elaboración.
R	Controlador de presión diferencial en el analizador del gas de tragante.
S	Rotámetro para regular el caudal del gas.

Si	Composición media del silicio en el arrabio, en %.
$Si_I^A$	Contenido en silicio en la primera muestra tomada en la colada I, en %.
$Si_I^M$	Contenido en silicio medio en la colada I, en %.
$\overline{Si}^A$	Valor medio del silicio de la primera muestra en n coladas.
Wu	Parámetro representativo del estado térmico del horno alto, en Kcal./t.a.
$W_R$	Valor de referencia del parámetro Wu.
$\theta_v$	Temperatura del viento soplado, °C.
$\Omega$	Oxígeno cedido por la carga al viento, Kg./t.a.
$\sigma$	Desviación típica.
$\sigma_{Si}$	Desviación típica del silicio.
$\omega$	Átomos de oxígeno por átomo de hierro; mide el exceso de oxígeno de los óxidos con relación al estado de wüstita.

## BIBLIOGRAFIA

- (1) P. Jourde et al.; Amsterdan Conference; Paper B-5 (1965).
- (2) J.M. Van Langen, G.A. Flierman and N.A. Hasenack; Amsterdan Conference; Paper B-6 (1965).
- (3) K. Katsura and T. Yamamoto; Amsterdan Conference. Paper B-9 (1965).
- (4) A.K. Pokhvisnev, L.J. Rozhavskii and N.K. Zhilkin; Stahl in English; 10, 760 (1963).
- (5) F.A. Fazzalari and J.S. Kapitan; Blast Furnace and Steel Plant; 51, 345 (1963).
- (6) G.B. Spallanzani et al.; Amsterdan Conference; Paper B-8 (1965).
- (7) H.P. Schultz; Stahl and Eisen; 2 Nov. (1963).
- (8) J. Van Langen, A. Poos and R. Vidal; Journal of Metals; 17 n° 12, 1379 (1965).
- (9) R.L. Stephenson; 3 Journées Internationales de Siderurgie, Luxemburgo; 175 (1962).
- (10) Robins; Journées Internationales de Siderurgie, Luxemburgo 223 (1965).
- (11) A. Poos, R. Vidal, J. Luckers; Journées Internationales de Siderurgie 103 (1965).

- (13) J. P. Byens; Iron Age; 179, 69 (1957).
- (14) J. E. Oram; Steel; 144 n° 19, 152(1959).
- (15) J. E. Oram; Blast Furnace and Steel Plant; 47 n° 7, 716 (1959).
- (16) J. E. Oram; Iron and Steel Engineer; 38 n° 7, 119 (1961).
- (17) V. Kaganov; Stal; 16 n° 3, 195, (1956).
- (18) A. V. Leskov; Metallurg; 4 n° 1, 4, (1959).
- (19) A. B. Tcheizovskine; Metallurg; 4 n° 5, 4, (1959).
- (20) M. P. Levitski; Stal; 19 n° 7, 583, (1959).
- (21) V. Loskutov; Promyshlehn Ekonomicheskaya Gazeta; 5 n° 42, 3, (1960).
- (22) C. Staib, P. Dancoise, J. Michard; Journees Internationales de Siderurgie; Amsterdam (1965).
- (23) J. Michard; Etude du haut fourneau II. Chabriers du Cessid (1959).
- (24) P. Dancoise; Can. Met. Quaterly; 2, 197, (1963).
- (25) C. Staib; Rev. Metallurg; 61 n° 1, 1 (1964).
- (26) A. Rist, N. Meysson; Rev. Metallurg; 61 n° 2, 121, (1964).
- (27) C. Staib, J. Michard; J. Metal; n° 1, 165, (1965).
- (28) P. Dancoise, J. Michard; Congres International de Charleroi, Sep, 12, 425, (1966).
- (29) C. Staib, Rev. Metallurgie; 1, 1, (1964).
- (30) P. Michaux, R. Goffette, G. Chanty, P. Dascoine, F. Himber; Rev. Metallurgie; n° especial, Octobre (1961).
- (31) J. Michard, P. Dascoine, G. Chanty, Aime (1961).
- (32) A. Roederer, Y. Boudier, J. Michard, Rev. Metallur. 65, 5, (1961).



- (35) P. Jourde, Revue de L Industrie Mineral, 3, 1, (1965).
- (36) P. Jourde y otros, Rev. Metallurgia; 11, 12 (1965).
- (37) C. Staib, N. Jusseau, J. Vigiengo y J. C. Cochery; Rev. Metallurgie; 12 , 718, (1968).
- (38) K. Katsura, T. Yamamoto; Amsterdan Conference (1965).
- (39) G. B. Spallanzani et al. ; Amsterdan Conference (1965).
- (40) E. S. Savas; I. B. M. Control System; report nº 4, (1961).
- (41) G. A. Flierman, J. M. Van Langen; Journees Internationales de Siderurgie, Amsterdan (1965).
- (42) H. Beer et al.; J. I. Siderurgie, Amsterdan (1965).
- (43) Flint; Blast Furnace and Steel Plant; 50, nº1, (1962).
- (44) R. Vidal, J. Lückers; Metalurgical Reports, C.N.R.M.; 19 , 65, (1969).
- (45) R. Vidal et al.; C.N.R.M.; 24 , Sep. (1970).
- (46) Zilkin et al.; Izv. V.U.Z. Chernaja Metall.; nº11, 34-40, (1964).
- (47) E. Egami, y S. Mizumo; Metal. vol. 17, nº 3 (1966).
- (48) S. L. Jaroshevsk y N. N. Popov. Metallurg., nº 6, 2-6, (1967).
- (49) E. Mazanek et al. ; Iron and Steel ; 2 , 20-22, (1970).
- (50) F. J. Asensio; XIV Reunión de la Comisión técnica de Hornos Altos; Madrid 12, (1968).